

Avdelningen för Installationsteknik
Examensarbete TVIT—22/5090
Lund 2022

Energianvändning i kontor

- Beräkning och uppföljning av
kontorsbyggnaden Epic

Frida Bengtsson
Julia Hägerström



LUNDS
UNIVERSITET

Energianvändning i kontor

Beräkning och uppföljning av kontorsbyggnaden Epic

Frida Bengtsson
Julia Hägerström

Examensarbete

Avdelningen för Installationsteknik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Frida Bengtsson och Julia Hägerström

ISRN LUTVDG/TVIT—22/5090--SE(140)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

Byggsektorn står idag för 40 % av energianvändningen i EU samtidigt som 36 % av växthusgasutsläppen i EU kommer från byggnader. Att förbättra byggnaders energiprestanda är av stor vikt för att uppnå nationella och internationella klimatmål. Ett viktigt redskap för att förutspå en byggnads energiprestanda är energimodellering. Att kunna göra energiberäkningar med hög noggrannhet i tidigt skede ger bättre underlag för beslutsfattande utefter projektets gång. Det övergripande syftet med detta examensarbete är att, genom en fallstudie av kontorsbyggnaden Epic i Malmö, utvärdera vilka enskilda indata som gör att uppmätt energianvändning skiljer sig från beräknad samt hur energianvändningen i den studerade byggnaden kan minskas. Även om examensarbetets resultat endast gäller kontorsbyggnaden Epic kan de till viss del anses applicerbara för andra kontorsbyggnader av liknande utformning och storlek. Examensarbetet inleds med en litteraturstudie som omfattar tre avhandlingar från Lunds universitet som publicerats de senaste åren samt fyra internationella studier. Metoden som därefter används består dels av modellering och beräkning i datorprogrammet IDA ICE 4.8, dels insamling, sammanställning och analys av uppmätt data från kontorsbyggnaden Epic. Beräkningsresultaten från energisimuleringen jämförs mot tillgängliga mätdata för flertalet utvalda parametrar vilka påverkar energianvändningen. De parametrar som undersöks närmare och jämförs mot uppmätta data är ventilationsflöde, verkningsgrad för värmeväxlare, SFP-tal, närvaroschema, rumstemperatur, radiator effekt, kylbaffel effekt, verksamhetsel, tappvarmvatten samt utomhusklimat.

Fallstudien visar svårigheter med att modellera mänskligt beteende så att det speglar verkligheten samt osäkerheter i den modelleringsindata som används. En slutsats som dras i examensarbetet är att den totala energianvändningen för uppvärmning och komfortkyla beror på flertalet parametrar som i förlängningen kan påverka den totala energianvändningen både positivt och negativt. Detta gäller både för de beräknade och uppmätta värdena. Det är därför svårt att utvärdera en byggnads energiprestanda endast baserat på den totala energianvändningen. Om osäkerheter i modelleringsindata ger en ökad energianvändning för en post i värmebalansen men minskad energianvändning för en annan post är det inte säkert att det syns vid uppföljning av den totala energianvändningen. Alltså kan de beräknade totala värdena stämma väl överens med de uppmätta trots att använda indata avviker från verkligheten. Examensarbetet föreslår utöver det flera åtgärder som kan göras i den befintliga byggnaden för att minska energianvändningen. Exempel på åtgärder är att sänka radiator effekterna under nattetid, sänka byggnadens inomhustemperatur samt begränsa ventilationsdrift under semesterveckor och röda dagar.

Nyckelord: Energianvändning, kontorsbyggnad, brukarbeteende, energimodellering, noggrannhet, energiuppföljning, modelleringsindata, IDA ICE

Titel: Energianvändning i kontor – Beräkning och uppföljning av kontorsbyggnaden Epic.

Författare: Frida Bengtsson och Julia Hägerström

Handledare: Birgitta Nordquist, Universitetslektor vid Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära.

Biträdande handledare: Josefine Holmgren, Energiingenjör Skanska Sverige AB, Teknik

Examinator: Victor Fransson, Biträdande universitetslektor vid Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära.

Abstract

The building sector is responsible for 40 % of the energy use in the EU today and improving the energy performance of buildings is essential to fulfill the national and international climate agreements. One important tool used in energy performance predictions is modeling. The aim of this study is to evaluate how precise an energy calculation can be and what factors influence the performance gap between calculations and reality. This thesis is performed by a case study of the office building Epic in Malmö. The method used includes both energy simulation using the program IDA ICE 4.8 and compilation of measured data from the existing building. The results from the simulation are compared to the available data for several parameters influencing the energy use. The case study shows difficulties in modeling human behavior and inaccuracies in input data for the different parameters. The thesis concludes that, since the total energy use for cooling and heating depends on such large number of parameters, and the parameters individually can have both a positive and negative impact on the energy use, it is difficult to evaluate the performance of a building by only studying the total numbers. The thesis also comes up with several energy saving proposals for the office building Epic specifically.

Förord

Som avslutande moment på civilingenjörsprogrammet inom Väg- och vattenbyggnad vid Lunds tekniska högskola har detta examensarbete utförts under vårterminen 2022. Examensarbetet är skrivet på avdelningen för installationsteknik och omfattar 30 högskolepoäng.

Ett stort tack till vår handledare Birgitta Nordquist och vår examinator Victor Fransson för deras expertis, stöttning och outtröttliga engagemang.

Ytterligare tack vill vi rikta till Josefine Holmgren och kollegorna i energigruppen på Skanska Teknik som bidragit med mycket kunskap, intresse och härlig stämning.

Slutligen vill vi tacka våra nära och kära och alla som på olika sätt förgyllt våra fem oförglömliga år i Lund.

Lund, maj 2022

Frida Bengtsson och Julia Hägerström

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	iii
Förord	v
Innehållsförteckning	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Övergripande metod	3
2 Teori	5
2.1 Värmebalans	5
2.1.1 Tillförd värmeenergi.....	6
2.1.2 Bortförd värmeenergi	6
2.1.3 Total energianvändning	7
2.2 Myndighetskrav	7
2.2.1 Energiprestanda	8
2.2.2 Inomhusklimat	9
2.2.3 Normalt brukande	9
2.2.4 Uppföljning och normalisering.....	10
2.3 Branschstandard	11
2.3.1 R1 - Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav.....	11
2.3.2 Sveby	12
3 Litteraturstudie	15
3.1 Doktorsavhandlingar	15
3.1.1 Predicting the Energy Performance of Buildings- “Att förutsäga byggnaders energiprestanda”.....	15
3.1.2 Prediction of power and energy use in dwellings- “Förutsägelse av effekt- och energianvändning i bostäder”	17
3.1.3 Energy use in hotels and low-energy schools- “Energianvändning i hotell och lågenergiskolor”.....	21
3.2 Internationella studier	24
3.2.1 Exploring the validity of occupant behavior model for improving office building energy simulation- “Validering av modelleringsindata för brukarbeteende för att förbättra energisimulering av kontorsbyggnader”	24
3.2.2 Occupancy schedules learning process through a data mining framework- “Kunskapsåterföring gällande brukarbeteende genom användning av en datautvinningsprocess”.....	26
3.2.3 A critical review of observation studies, modeling, and simulation of occupant behaviors in offices- “En kritisk granskning av observationsstudier, modellering, och simulering av brukarbeteenden i kontorsbyggnader”	28
3.2.4 A holistic approach to evaluate building performance gap of green office buildings: A case study in China- “Ett holistiskt angreppssätt för att utvärdera skillnader mellan beräknad och uppmätt prestanda i gröna kontorsbyggnader- En fallstudie i Kina”.....	29

3.3	Diskussion litteraturstudie	32
4	Metod.....	35
4.1	Epic.....	35
4.1.1	Systembeskrivning	36
4.2	Modelleringsindata	38
4.2.1	Byggdelar	38
4.2.2	Köldbryggor och lufttäthet	43
4.2.3	Byggnadskroppar och zonindelning	44
4.2.4	Ventilation, läckor och vädringsluckor i atriet	45
4.2.5	Internlaster	45
4.2.6	Styrning av byggnadens system	46
4.2.7	Värme- och kylsystem	47
4.2.8	Klimatfil	50
4.2.9	Omgivande bebyggelse.....	50
4.3	Sammanställning av värden.....	51
4.3.1	Uppvärmning och komfortkyla	53
4.3.2	Ventilation	53
4.3.3	Verkningsgrad värmeväxlare.....	53
4.3.4	SFP-tal	54
4.3.5	Inomhusklimat, enskilda rum	54
4.3.6	Närvaroschema, enskilda rum	55
4.3.7	Rumstemperaturer, enskilda rum.....	55
4.3.8	Inomhustemperatur, radiator- och kylbaffleffekt.....	56
4.3.9	Verksamhetsel	56
4.3.10	Tappvarmvatten	56
4.3.11	Utomhusklimat	56
5	Resultat och analys	59
5.1	Uppvärmning och komfortkyla	59
5.1.1	Beräknade och uppmätta värden.....	59
5.1.2	Jämförelse och analys.....	62
5.2	Ventilation	63
5.2.1	Beräknade värden	63
5.2.2	Uppmätta värden	64
5.2.3	Jämförelse och analys.....	65
5.3	Verkningsgrad värmeväxlare.....	68
5.3.1	Beräknade värden	68
5.3.2	Uppmätta värden	70
5.3.3	Jämförelse och analys.....	74
5.4	SFP-tal	75
5.4.1	Beräknade värden	75
5.4.2	Uppmätta värden	76
5.4.3	Jämförelse och analys.....	77
5.5	Inomhusklimat, enskilda rum	78
5.5.1	Beräknade värden	79
5.5.2	Uppmätta värden	80
5.5.3	Jämförelse och analys.....	81

5.6	Närvaroschema, enskilda rum	83
5.6.1	Beräknade värden	83
5.6.2	Uppmätta värden	85
5.6.3	Jämförelse och analys	87
5.7	Rumstemperatur, enskilda rum	89
5.7.1	Beräknade värden	90
5.7.2	Uppmätta värden	92
5.7.3	Jämförelse och analys	94
5.8	Inomhustemperatur, radiator- och kylbaffleffekt	95
5.8.1	Beräknade värden	95
5.8.2	Uppmätta värden	97
5.8.3	Jämförelse och analys	99
5.9	Verksamhetsel	102
5.9.1	Beräknade och uppmätta värden	102
5.9.2	Jämförelse och analys	103
5.10	Tappvarmvatten	103
5.10.1	Schablonvärde	103
5.10.2	Uppmätta värden	103
5.10.3	Jämförelse och analys	104
5.11	Utomhusklimat	106
5.11.1	Modelleringsindata	106
5.11.2	Uppmätta värden	107
5.11.3	Jämförelse och analys	108
5.12	Sammanställning	110
6	Diskussion	113
6.1	Pandemins påverkan	115
6.2	Framtida studier	115
6.3	Felkällor	117
7	Slutsats	119
	Referenser	121
	Bilaga	125

1 Inledning

Följande inledande kapitel avser att ge en överblick över det studerade ämnet. Detta görs genom att presentera en bakgrund till varför noggrannhet i energiberäkningar är relevant samt vad syftet med fallstudien är. Vidare presenteras frågeställningarna som ämnas att besvaras, avgränsningar för examensarbetet samt den övergripande metoden som används.

1.1 Bakgrund

En av de största utmaningarna som världen och byggbranschen står inför är att minska klimatpåverkan och hushålla med jordens resurser. Idag står byggsektorn för 40 % av energianvändningen i EU samtidigt som 36 % av växthusgasutsläppen i EU kommer från byggnader (Europeiska Unionen, u.d.). Därför är gröna byggnader ett av EU:s prioriterade områden och en del i det arbetet är kravet på att alla byggnader som byggs i EU från och med år 2021 ska vara så kallade nära-nollenergibyggnader, detta enligt Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/844 av den 30 maj 2018 om ändring av direktiv 2010/31/EU om byggnaders energiprestanda och av direktiv 2012/27/EU om energieffektivitet. Även FN har i flertalet av deras globala mål i agenda 2030 belyst byggbranschens frågor som viktiga för en hållbar utveckling. Ett av dessa är ”Mål 7-Hållbar energi för alla” där ett av delmålen är ”Delmål 7.3-Fördubbla ökningen av energieffektivitet” (UNDP, 2021).

Energiberäkningar används som ett verktyg för att kunna jämföra olika byggnadstekniska lösningar och för att redan under projekteringsfasen förutse konsekvenserna av beslut. Det är också energiberäkningar som ligger till grund för bedömning av huruvida en byggnad uppfyller vissa av de myndighetskrav som finns. Noggrannheten i dessa beräkningar har undersökts då det visat sig att många byggnader efter färdigställande har en annan energianvändning än den projekterade (Boverket och Energimyndigheten, 2018). Definitionen som används vidare i rapporten för termen noggrannhet är graden av överensstämmelse mellan det beräknade och sanna värdet (Ekström, 2021).

Anledningarna till att beräknade och uppmätta värden skiljer sig åt kan vara många då avvikelserna kan finnas både i den indata som används vid beräkning samt uppkomma i samband med byggnation. De osäkerheter som finns i den indata som används vid beräkningar är dock ofta kopplade till brukarbeteende. I takt med att mer energieffektiva installationer används i byggnader får brukarbeteendena större påverkan på energianvändningen varför en god förståelse för brukarna är viktig för noggrannheten i beräkningen (Filipsson & Dalenbäck, 2014).

Då 85 % av en byggnads totala energianvändning går åt under bruksskedet är det av vikt att simulera energianvändningen i byggnaden med indata som speglar hur den faktiskt kommer användas. Hela byggnaden kan ses som ett system där en felaktig injustering av dess installationer kan komma att generera dålig komfort, vilket i sin tur får följd effekter på energianvändningen. Installationssystemen kan vid dålig komfort behöva justeras

under driftskedet och om inte det initiala injusteringsfelet åtgärdas på rätt sätt kan energianvändningen komma att skilja sig från den som beräknades i projekteringsskedet. Om exempelvis ventilationen justeras fel kan upplevt drag åtgärdas genom att höja radiatoreffekten och därmed också inomhustemperaturen, vilket ger en högre energianvändning än om den initiala avvikelsen från projekteringen åtgärdats (Bokalders & Block, 2014).

Detta examensarbete utförs i samarbete med Skanskas energigrupp som ett led i arbetet med att förbättra noggrannheten i energiberäkningar för kontorsbyggnader. Att redan i projekteringsskedet kunna uppskatta energianvändningen av en framtida byggnad så att den stämmer väl med verkligheten ger Skanska möjligheter att i ett tidigt skede utveckla bättre lösningar för att minska energianvändningen. En väl utförd energimodell kan sedan användas som ett underlag för detaljprojektering, produktion samt vid drift och uppföljning av byggnaden. Vikten av att öka noggrannheten i energiberäkningar samt att få en större förståelse för byggnader under driftskedet har aktualiserats ytterligare för Skanska i anslutning till att de under 2021 meddelade att en ny verksamhetsgren för fastighetsförvaltning ska startas inom företaget.

1.2 Syfte

Det övergripande syftet med examensarbetet är att genom en fallstudie av kontorsbyggnaden Epic jämföra faktorer i värmebalansen för beräknad respektive uppmätt energianvändning och identifiera eventuella skillnader. Även om examensarbetets resultat endast gäller kontorsbyggnaden Epic kan de till viss del anses applicerbara för andra kontorsbyggnader med liknande utformning och storlek. Examensarbetet ämnar ge en kunskapsutveckling både gällande skillnader mellan uppmätta och beräknade värden för olika indataparametrar samt hur energianvändningen kan minskas i kontorsbyggnader. Resultatet kan i förlängningen bidra till att öka noggrannheten i energiberäkningar för kontorsbyggnader vilket i sin tur kan öka förståelsen för energianvändningen under driftskedet.

1.3 Frågeställning

De frågeställningar som examensarbetet ämnar besvara är följande.

- Hur skiljer sig uppmätt och beräknad energianvändning för uppvärmning och komfortkyla i kontorsbyggnaden Epic när den modelleras enligt vald energiberäkningsmetod?
- Vilka faktorer i värmebalansen utgör eventuell skillnad mellan beräknad och uppmätt energianvändning och hur?
- Finns det någon parameter för vilken justeringar kan göras i driftskedet för att minska energianvändningen i kontorsbyggnaden Epic utan att försämra komforten?

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet utförs som en fallstudie med förutsättningar enligt nedan.

- Kontorsbyggnad med utformning, placering och användning enligt specifika bygg- och relationshandlingar.
- Gällande myndighetskrav och branschstandarder samt svenska byggnormer.
- Energisimuleringsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 4.8 används.
- Modelleringen följer vald energiberäkningsmetod som arbetats fram under examensarbetets gång i samarbete med Skanska.
- Fallstudien omfattar år 2021.
- Tillgång till uppmätt data i befintlig byggnad bestämmer vilka jämförelser och analyser som går att göra.

1.5 Övergripande metod

Examensarbetet inleds med en litteraturstudie som utförs för en ökad insyn i den samlade kunskap som finns och vilken forskning som bedrivs inom området. Litteraturstudien omfattar tre avhandlingar från Lunds universitet samt fyra internationella studier. De presenterade studierna i detta examensarbete berör främst områden inom noggrannhet i energiberäkningar samt brukarbeteendets osäkerheter och påverkan på energi-användningen.

Fallstudien utförs genom att med indata från befintliga bygg- och relationshandlingar modellera kontorsbyggnaden Epic i IDA ICE enligt vald energiberäkningsmetod som tagits fram under arbetets gång i samarbete med Skanska. Energianvändningen för den modellerade byggnaden kan därefter beräknas genom en energisimulering i programmet. Den beräknade energianvändningen sammanställs för att kunna jämföras mot uppmätta data. Även uppmätta data sammanställs för den aktuella kontorsbyggnaden Epic för att identifiera de faktiska värdena för respektive parameter som undersöks. Sammanställningen för de uppmätta värdena utförs i Excel.

Resultatet av både beräknade och uppmätta data för respektive parameter presenteras tillsammans med en jämförelse mellan de två. Vid denna jämförelse kan noggrannheten i den valda energiberäkningsmetodens indata utvärderas. Resultatet kommenteras i en analys under varje parameters resultat och i analysen kopplas resultatet samman med litteraturstudien.

2 Teori

I detta avsnitt presenteras teori kopplat till värmebalansen i en byggnad som en beskrivning av hur värmeenergiflödena tar sig in och ut ur en byggnad. Utöver det presenteras de myndighetskrav som finns gällande byggnaders energiprestanda och inomhusklimat. I teoriavsnittet tas även upp hur de osäkerheter som finns i energiberäkningar ska hanteras, dels enligt Boverket, dels enligt de branschstandarder som finns.

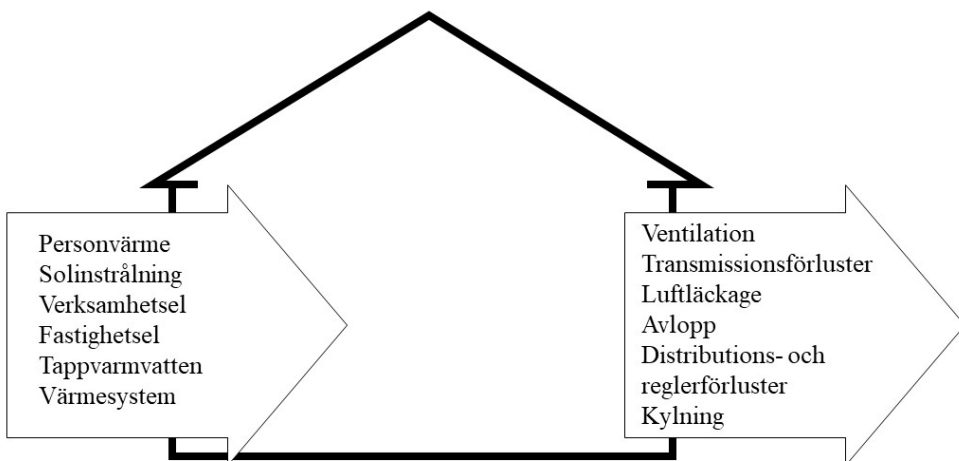
2.1 Värmebalans

Värmebalansen tydliggör vilka värmeenergiflöden som tillförs respektive bortförs en byggnad, se figur 1. Den värmeenergi som tillförs i en kontorsbyggnad är personvärme, Q_{per} , solvärme, Q_{sol} , värme från verksamhetsel, $Q_{el,verk}$, värme från fastighetsel, $Q_{el,fast}$, tappvarmvatten, Q_{tvv} , och uppvärmning, Q_{uppv} . Den värme som bortförs är förluster genom ventilation, Q_{vent} , transmission, Q_{tran} , luftläckage, Q_{luft} , och avlopp, Q_{avlo} , samt genom distributions och reglerförluster, $Q_{dis+reg}$. Vidare bortförs energi även genom kylning, Q_{kyl} (Bokalders & Block, 2014). Under uppvärmningssäsongen blir värmebalansen enligt ekvation 1, då byggnaden behöver uppvärmning och ingen kylning.

$$\begin{aligned} Q_{per} + Q_{sol} + Q_{el,verk} + Q_{el,fast} + Q_{tvv} + Q_{uppv} &= \\ &= Q_{vent} + Q_{tran} + Q_{luft} + Q_{avlo} + Q_{dis+reg} \end{aligned} \quad (1)$$

Under kyla-säsongen behövs i stället byggnaden kylas ner vilket ger värmebalansen enligt ekvation 2.

$$\begin{aligned} Q_{per} + Q_{sol} + Q_{el,verk} + Q_{el,fast} + Q_{vv} &= \\ &= Q_{vent} + Q_{tran} + Q_{luft} + Q_{avlo} + Q_{dis+reg} + Q_{kyl} \end{aligned} \quad (2)$$



Figur 1. Förtydligande bild på vilka energiflöden som går ut och in i byggnaden.

2.1.1 Tillförd värmeenergi

Solinstrålning bidrar till gratisvärme under uppvärmningssäsong men ökar också kylbehovet under kyla-säsong. Hur mycket värmeenergi som solinstrålningen ger varierar under året (Abel & Elmroth, 2016).

Personvärme bidrar till ett värmestillskott i byggnaden som är fördelaktigt under uppvärmningssäsong men inte under kyla-säsong. Detsamma gäller det värmestillskott som verksamhetsel respektive fastighetsel ger genom att driva apparater och belysning. Värt att notera är att viss fastighetsel kan tillföras utomhus eller i utrymmen som inte ingår i uppvärmd area och detta värmestillskott ingår inte i byggnadens värmebalans (Bokalders & Block, 2014).

Energien som behövs för att värma en byggnads varmvatten är beroende av utformningen på uppvärmningssystemet, rördragningarna, temperatur på inkommande kallvatten och mängden varmvatten som brukarna använder. Varmvattenanvändningen bidrar till viss uppvärmning av byggnaden genom att vattnet i ledningarna avger värme, något som dock bör begränsas för att minska risken för oavsiktlig värmning på fel plats (Bokalders & Block, 2014).

Uppvärmningen sker genom det värmesystem som byggnaden har och i den mängd som behövs för att nå önskad temperatur inomhus under uppvärmningssäsong (Bokalders & Block, 2014).

2.1.2 Bortförd värmeenergi

Ventilationen bortför värmeenergi via frånluften eftersom den luft som tas in måste värmas upp till önskad inomhustemperatur. Genom att återvinna den värme som ventilationens frånluft tar med sig från rummet kan ventilationsförlusterna minska under uppvärmningssäsongen. Värmeåtervinning kan ske genom en värmeväxlare i ett fläktstyrt från- och tilluftssystem, genom att den kalla uteluften värms av frånluften innan den som tilluft når rummet. Värmeväxling till tilluften bör dock endast ske under uppvärmningssäsong så att den inte bidrar till övertemperaturer och ökat kylbehov (Abel & Elmroth, 2016).

Den värmeenergi som transporteras genom byggnadens klimatskal vid kallt uteklimat utgör byggnadens transmissionsförluster. Värmeenergin kan transporteras genom tak, golv, yttertak, fönster och dörrar, men också genom dess anslutningar med varandra. Ju bättre värmeisolerat klimatskalet är desto större andel av transmissionsförlusterna sker genom köldbryggor (Abel & Elmroth, 2016).

Luftläckage förekommer i klimatskalets otätheter och innebär risk för ett ökat värmebehov då kall luft läcker in och behöver värmas upp inomhus. Dessutom kan otätheterna ge risk för fuktskador i konstruktionen och riskera att ge en ökad upplevelse av drag. Hur stor risken för luftläckage är beror på byggnadens konstruktion och klimatskal samt dess ventilationssystem. Fönstervädning innebär också en typ av luftläckage, som under vintertid innebär en extra värmeförlust i byggnaden och ett sätt att sänka inomhustemperaturen under somrarna (Abel & Elmroth, 2016).

Då tappvarmvattnet använts lämnar det byggnaden genom avloppet, vilket innebär att den värmen som finns i vattnet följer med ut i avloppsvattnet och blir då en värmeförlust. Värmeväxlare kan användas på avloppen för att minska värmeförlusterna (Bokalders & Block, 2014).

Distributionsförluster är de värmeförluster som sker genom ledningar och kanaler för tappvarmvatten, värmesystem och kylsystem. Med reglerförlust menas den värmeförlust eller ökat kylbehov som uppkommer efter en temperaturreglering då det finns en skillnad mellan faktisk temperatur och önskad temperatur (Abel & Elmroth, 2016).

Kylning används under sommaren för att sänka byggnadens inomhustemperatur genom att överskottsvärmen bortförs. Kylning kan ske både med luftsystem och vattensystem (Abel & Elmroth, 2016).

2.1.3 Total energianvändning

Byggnadens totala energianvändning vid normalt brukande avser den energi som levereras till byggnaden i form av uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsel. Då den energianvändning som en byggnad kräver i form av fastighetsel inte ingår i värmebalansen behöver den räknas med i byggnadens totala energianvändning som en egen post enligt Boverkets byggregler (BFS 2011:6). Fastighetsel är den el som behövs för att driva en byggnads system och installationer, så som el till fläktar i ventilationssystem, pumpar för vattencirkulation i radiatorsystem, hissar samt belysning för fastighetens gemensamma delar (Abel & Elmroth, 2016).

2.2 Myndighetskrav

I Sverige beslutar riksdagen om lagar, som i sin tur regeringen beslutar förordningar för. Förordningarna förtydligar lagarna som riksdagen stiftar varefter det är myndigheternas uppgift att ta fram föreskrifter och allmänna råd. Det är föreskrifterna och de allmänna råden som innefattar de detaljerade reglerna för hur riksdagens lagar ska följas. Precis som övriga myndighetssverige styrs byggbranschen av riksdagens lagar. I byggbranschens fall är bland andra plan- och bygglagen (PBL) styrande. Lagen ställer krav på vad en ny byggnad ska uppnå inom flera olika områden, bland annat energihushållning och värmeisolering (Boverket, 2020). Kraven för nybyggnationer har sammanfattats av regeringen till tre punkter i plan- och byggförordningen (SFS 2011:338).

- Mycket hög energiprestanda
- Hushållning med el
- Klimatskal med god värmeisolering

Dessa tre punkter preciserar vad PBL vill uppnå och det är sedan Boverkets uppgift att sätta upp detaljerade regler som leder till att lagen följs. Dessa regler formuleras som föreskrifter och allmänna råd i bland annat Boverkets byggregler (BBR) samt Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår (BEN 2).

Boverket har översatt de tre punkterna ovan från plan- och byggförordningen till mätbara krav i BBR (BFS 2011:6) enligt nedan.

- Primärenergital
- Installerad eleffekt för uppvärmning
- Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient

2.2.1 Energiprestanda

För att mäta energiprestanda i en byggnad används primärenergitalet. Det är detta tal som Boverket använder för att bedöma om en byggnad följer plan- och bygglagens formulering kring energiprestanda. Boverket definierar också i BBR (BFS 2011:6) hur primärenergitalet ska beräknas och det görs enligt ekvation 3.

$$EP_{pet} = \frac{\Sigma \left(\frac{E_{uppv} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f}{F_{geo}} \right) \cdot VF}{A_{temp}} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 A_{temp} \text{ år})] \quad (3)$$

Där

E_{uppv} är energi till uppvärmning, [kWh/år]

E_{kyl} är energi till komfortkyla, [kWh/år]

E_{tvv} är energi till tappvarmvatten, [kWh/år]

E_f är energi till fastighetsel, [kWh/år]

VF är viktningsfaktor med avseende på energislag, [-]

F_{geo} är geografisk justeringsfaktor, [-]

A_{temp} är byggnadens totala area som är uppvärmd till minst 10°C, [m²]

Viktningsfaktorerna (VF) beslutas av Boverket och har till syfte att gynna energieffektiva och ickefossila energisystem samt missgynna motsatserna. Målet är att primärenergitalet för två liknande byggnader med två olika effektiva och hållbara energisystem ska bli detsamma oavsett vilket ickefossilt energislag som används. Exempelvis ska en byggnad som värms med fjärrvärme kunna få samma primärenergital som en byggnad med värmepump, samtidigt som en byggnad med direktverkande el ska få betydligt högre primärenergital enligt en konsekvensutredning från boverket (BFS 2020:4). Faktorerna presenteras i tabell 1.

Tabell 1. Boverkets viktningsfaktorer från 2020 för olika energibärare. Källa: Boverket (BFS 2020:4).

Energibärare	Viktningsfaktor
Fjärrvärme	0,7
El	1,8
Fjärrkyla	0,6
Fasta, flytande och gasformiga biobränslen	0,6
Fossil gas	1,8
Fossil olja	1,8

Den geografiska justeringsfaktorn, F_{geo} , har som syfte att samma byggnad ska få samma primärenergital oavsett var i Sverige den byggs. Det ska inte vara mer fördelaktigt energikravsmässigt att bygga i södra Sverige med varmare klimat än i norra Sverige. Därför har Boverket satt referenspunkten med en geografisk justeringsfaktor med värde 1 i Stockholm. En byggnad i varmare klimat har en lägre justeringsfaktor och en byggnad i kallare klimat har en högre justeringsfaktor, exempelvis är Malmös värde 0,8. De geografiska justeringsfaktorerna regleras i BBR (BFS 2011:6).

Boverkets kvantifierade krav på energiprestanda beror på vilken typ av byggnad som den aktuella nybyggnationen klassas som. För kontorsbyggnader, vilka klassas som lokaler, är det högsta tillåtna primärenergitalet angivet till $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 A_{temp} \text{ år})$ (BFS 2011:6).

2.2.2 Inomhusklimat

Ett fullgott inomhusklimat ska uppnås samtidigt som andra krav som ställs på byggnaden, exempelvis gällande energianvändning eller dagsljusinsläpp, ska uppfyllas. Med andra ord måste både de byggnadsspecifika och de verksamhetsspecifika kraven uppfyllas samtidigt. Det innebär att en åtgärd som ämnar vara energibesparande inte får äventyra varken inneklimatelets kvalitet eller den byggnadstekniska funktionen (Abel & Elmroth, 2016).

2.2.2.1 Termiskt klimat

De krav som ställs på det termiska klimatet av Folkhälsomyndigheten är angivna som operativa temperaturer i deras allmänna råd om temperatur inomhus (FoHMFS 2014:17). Den rekommenderade operativa temperaturen för att undvika olägenhet för människans hälsa är $20\text{--}23^\circ\text{C}$ med ett lägsta riktvärde på 18°C . Folkhälsomyndigheten ställer också krav på att den operativa temperaturen inte ska skilja sig i höjdlid i rummet samt att strålningsasymmetri inte får vara för stor. Arbetsmiljöverket ställer krav på inomhusklimatet i kontorslokaler på flera områden i publikationen Arbetsplatsens utformning (AFS 2020:1). Ett av dessa är kraven på lägsta respektive högsta inomhus-temperatur. Temperaturen är angiven som lufttemperatur och inte operativ temperatur till skillnad från de krav som Folkhälsomyndigheten anger. För stillasittande arbete ska temperaturen inte avvika under längre tid från $20\text{--}24^\circ\text{C}$ under uppvärmningssäsong och $20\text{--}26^\circ\text{C}$ under kylsäsong, detta enligt arbetsmiljöverket (AFS 2020:1).

2.2.2.2 Luftkvalitet

Folkhälsomyndigheten ställer krav på luftkvaliteten i deras allmänna råd om ventilation (FoHMFS 2014:18). Där definieras en tillfredsställande luftkvalitet som att koldioxidhalten inte bör överstiga 1000 ppm samtidigt som skillnaden mellan luftens fukthalt inte bör skilja mer än $3 \text{ g}/\text{m}^3$ mellan inomhus- och utomhusklimatet. Det minsta ventilationsflödet av uteluft som Arbetsmiljöverket (AFS 2020:1) kräver för kontor är 7 l/s och person med ett tillägg om $0,35 \text{ l/s}$ per m^2 .

2.2.3 Normalt brukande

För att beräkna och fastställa en byggnads energianvändning och dess primärenergital behöver brukarbeteendet tas i beaktning. Indata för brukarbeteende vid beräkning av

primärenergitalet avser ett normalår med normalt brukande. Vid beräkning av energianvändning behöver byggnadens utformning, placering, utomhusklimat, U-värden och köldbryggor samt det tekniska byggnadssystemet, värmeanläggning, ventilation, belysning och fastighetenergi tas i beaktning för ett normalbrukande under ett normalår enligt BEN (BFS 2016:12).

Enligt Boverket i BEN 2 (BFS 2016:12) ska de standardiserade värdena för brukarbeteende vid beräkning av energianvändning för en kontorsbyggnad för ett normalår med normalt brukande vara enligt tabell 2.

Tabell 2. Standardiserade brukarindata för kontorslokaler. Källa: Boverket (BFS 2016:12).

Parameter	Delparameter	Delparameter	Värden
Innetemperatur	Lägsta lufttemperatur [°C]		21
			23
Solavskärmning	Beteendestyrd avskärmning [avskärningsfaktor]		0,71
Tappvarmvatten	Energi [kWh/(m ² A _{temp} år)]		2/η _{tvv} ¹⁾
Verksamhetsenergi	Energi [kWh/(m ² A _{temp} år)]	Årsschablon	50
	Internlast [%]	Möjlig att tillgodogöras	100
Personvärme	Persontäthet [m ² A _{temp} /person]		20
	Tid (h/d/v) ²⁾		9/5/47
	Effektavgivning [W/person]		108

¹⁾ η_{tvv} är årsverkningsgraden hos värmekällan för produktion av tappvarmvatten.

²⁾ Timme per dygn/dygn per vecka/veckor per år.

2.2.4 Uppföljning och normalisering

Energiberäkningen görs i projekteringsstadiet under förutsättningen om ett normalt användande av byggnaden. Ett normalt brukande för lokaler definieras av Boverket i BEN (BFS 2016:12) som ett brukande som avspeglar det som lokalen är avsedd för vid projektering. För att kunna jämföra uppmätta värden under byggnadens drift med beräknade värden måste en normalisering göras så att de uppmätta värdena korrigeras i de fall byggnaden inte använts enligt vad som är definierat som normalt. I Boverkets föreskrifter och allmänna råd i BEN 2 (BFS 2016:12) fastställs att normalisering för lokaler, vilka innefattar kontorsbyggnader ska ske i fyra punkter.

- Normalisering av tappvarmvattenanvändning med hänsyn tagen till årsverkningsgraden hos varmvattnets värmekälla.
- Normalisering av uppvärmningsenergi med hänsyn tagen till inomhus-temperatur som avviker mot den projekterade.
- Normalisering av uppvärmningsenergi med hänsyn tagen till internlast som avviker från de projekterade.
- Normalårskorrigeringsfaktor för klimat som avviker från normalår.

För de fyra punkterna ovan presenterar Boverket i BEN 2 (BFS 2016:12) beräkningssätt för respektive punkt, men skriver också att det är möjligt att normalisera på basis av dynamiska beräkningar i stället för uppmätta data. Det görs genom simuleringsprogram där två modeller görs, en modell med projekterade förutsättningar och en modell med de faktiska förutsättningarna för det aktuella året. För varje post går då att utläsa en procentuell skillnad som går att använda vid normalårskorrigeringen. Boverket rekommenderar dock i BBR (BFS 2011:6) att verifiering av energiprestandan i färdigställd byggnad görs med beräkningsgången beskriven i BEN snarare än genom dynamisk beräkning.

2.3 Branschstandard

Branschstandarder är publikationer som samlat och tolkat de krav och regelverk som svenska myndigheter har på byggnader. Det bidrar till en överenskommelse inom byggbranschen som gör det möjligt att jämföra energiprestanda respektive inomhusklimat mellan olika byggnader och mellan olika företags energiberäkningar på ett kvalitativt sätt (Sveby, u.d.). Nedan presenteras branschstandarderna Sveby för energiprestanda och R1 för inomhusklimat.

2.3.1 R1 - Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav

”R1 - Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav” är ett dokument utgivet av Energi- och Miljötekniska Föreningen för att samla de krav och råd från svenska myndigheter och aktuella standarder som ställs på inneklimatets kvalitet. R1 används för att specificera och värdera inneklimatets kvalitet och kan användas som referenshandling i samband med projektering och upphandling eller vid bedömning av befintliga byggnader. De inomhusmiljöfaktorer som R1 specificerar och värderar är termiskt klimat, luftkvalitet, ljud och ljus (Ekberg, 2013).

2.3.1.1 Termiskt klimat

I R1 (2013) delas de termiska klimatklasserna in i två, TQ1 och TQ2, där TQ1 är den högsta klassen. De kravspecifikationer som presenteras i R1 är målvärden vid dimensionerande vinter- och sommartillstånd, målvärden för golvtemperatur och begränsningar av vertikal temperaturgradient, strålningsasymmetri och dragrisk. Dessa kravspecifikationer är uppdelade i klasserna TQ1 och TQ2 med olika värdenas intervall. Vidare presenteras även målvärden för den operativa temperaturen som är desamma för båda klimatklasserna men där TQ1 har som krav att temperaturen i ett enskilt rum eller mindre zon av ett större rum ska kunna styras och påverkas av den enskilde brukaren. De termiska klimatklassernas krav tillåter ett PPD-index hos brukarna på maximalt 10% för arbetslokaler.

2.3.1.2 Luftkvalitet

I R1 (2013) delas luftkvaliteten in i två klasser, AQ1 och AQ2, där båda innebär att det normalt är mycket liten risk för störningar i form av lukt. I AQ2, som är den lägre klassen, är det dock tillåtet att lukter förekommer en kortare stund direkt efter inträde i en lokal. De kravspecifikationer som presenteras i R1 är målvärden för luftkvalitetsklasser med hänsyn till komfort, vilket innebär att rumsluftens koldioxidhalt inte får överskrida ett maximumvärde beroende på kvalitetsklass. Vidare presenteras även kravspecifikationer med råd beträffande högsta tillåtna föroreningskoncentrationer för att reducera

risken för ohälsa för en rad olika föroreningar. Samma högsta koncentration gäller för båda luftkvalitetsklasserna.

2.3.2 Sveby

Sveby, som står för ”Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader”, är ett branschöverskridande program som avser att säkerställa ett branschanpassat och standardiserat underlag för hur brukarindata ska hanteras. Syftet med programmet är att tolka BBR:s (BFS 2011:6) funktionskrav på energianvändning och få branschen mer samlad och enig för att undvika att olika aktörer i byggprocessen räknar på olika vis (Sveby, u.d.).

2.3.2.1 Brukarbeteende

Det brukarbeteende som Sveby hänvisar till att använda som brukarindata för kontorsbyggnader redogörs i rapporten ”Brukarindata kontor” version 1.1 (2013). Den standardiserade indata som Sveby anvisar syftar till att energiberäkningsresultaten ska vara realistiska och likna den verkliga energianvändningen. För kontorsbyggnader utgår standardiserade brukarindata från antalet kontorsplatser (alternativt golvarea/person), genomsnittlig beläggning av platser och kontorsbyggnadens golvarea. Nedan presenteras vilka standardiserade brukarindata som Sveby menar ska användas vid energiberäkningar av normal kontorsverksamhet i kontorsbyggnader, om inget annat anges (Sveby, 2013).

- Rumstemperaturen rekommenderas till 21°C under uppvärmningssäsong och 23°C under kylningssäsong.
- Luftflödeskrav för brukande är med uteluftsflöde på 1,3 l/s per $m^2 A_{temp}$ med en drifttid klockan 7–19 på vardagar och övrig tid helt avstängd.
- Luftläckage och inverkan av vädring anses som försumbart.
- Solavskärmningsfaktorns rekommenderade värden är 0,5 eller 0,71 beroende på typ av avskärmning och hur den används.
- Verksamhetsenergin, främst el till apparater och belysning, rekommenderas med en årsschablon på $50 \text{ kWh}/m^2 A_{temp}$.
- Fastighetsenergi är beroende av vilka armaturer och aggregat som används för att underhålla byggnadens funktion.
- Normalvärden för parametrar kopplade till personvärme är 108 W/person för kontorsarbete, $20 \text{ m}^2 A_{temp}/\text{person}$ för antalet personer, 70 % beläggingsgrad, 250 kontorsdagar på ett år och 9 timmar för längden på en kontorsdag.
- Tappvarmvattenanvändning rekommenderas med ett årsschablonsvärde på $2 \text{ kWh}/m^2 A_{temp}$
- Om andra verksamheter i byggnaden överstiger 10 % av den totala tempererade arean behöver luftmängden korrigeras.

2.3.2.2 Uppföljning och verifiering

Uppföljning av den uppmätta energianvändningen ska genomföras 24 månader efter byggnaden tagits i drift och byggnadens energiprestanda ska sedan beräknas och uttryckas som primärenergital. Den verifieringen som Sveby hänvisar till att använda redogörs i rapporten ”Verifieringsanvisningar” version 2.0 (2020). Verifieringen genomförs

genom att samla in mätvärden för byggnaden och separera energianvändningsposterna. När energianvändningen för dessa poster är separerad samt mätdata för innetemperatur och fastighets- och verksamhetsenergi är kända kan normalårskorrigerings göras för respektive mätdata. Genom normalårskorrigerings kan verifiering göras av energianvändningen. Dessutom kan primärenergitalet beräknas för kontorsbyggnaden (Sveby, 2020).

3 Litteraturstudie

En litteraturstudie görs för att få en överblick av vad som publicerats inom ämnet och vilken forskning som bedrivits. Tre doktorsavhandlingar från Lunds tekniska högskola studeras för att få en övergripande bild av vilken forskning som bedrivits i Sverige. Avhandlingarna är några av de senaste publikationerna inom ämnet från avdelningarna för installationsteknik och byggnadsfysik. Dessutom inkluderas internationella studier med avsikt att bidra med en omvärldsutblick i ämnet. Dessa fås via LUBsearch med sökorden: "office building", "occupant behavior", "occupancy schedule", "energy simulation" och "performance gap".

3.1 Doktorsavhandlingar

En utmaning gällande energiberäkningar är att göra en träffsäker bedömning av den verkliga energianvändningen i en byggnad. Parametrarna kopplade till brukarbeteende kan påverka en byggnads energianvändning i stor utsträckning. Det är också de brukarrelaterade parametrarna som är svåra att uppskatta vid simuleringar av en byggnad då variationen i mänskliga beteenden kan generera en omfattande spridning av värden. Det finns många olika metoder för att hantera de osäkerheter som finns i den indata som används varav några presenteras i följande avsnitt.

3.1.1 Predicting the Energy Performance of Buildings- "Att förutsäga byggnaders energiprestanda"

Tomas Ekström (2021) presenterade i sin avhandling en metod för att hantera osäkerheter för indata vid energisimuleringar. Avhandlingen problematiserade det traditionella deterministiska angreppssättet, att ge varje parameter ett fast värde, då det endast ger ett värde på en byggnads energiprestanda. För att hantera osäkerheterna utvecklade författaren en ny probabilistisk metod för att kunna bedöma en byggnads sannolikhet att uppnå en viss energiprestanda. Om den beräknade energiprestandan presenterades som en serie tänkbara värden i stället för ett fast värde kunde bilden av en byggnads framtida energianvändning spegla verkligheten på ett bättre sätt. Studierna som presenterades i avhandlingen var begränsade till småhus och flerbostadshus i Sverige men metoden skulle i framtiden kunna ha fler användningsområden.

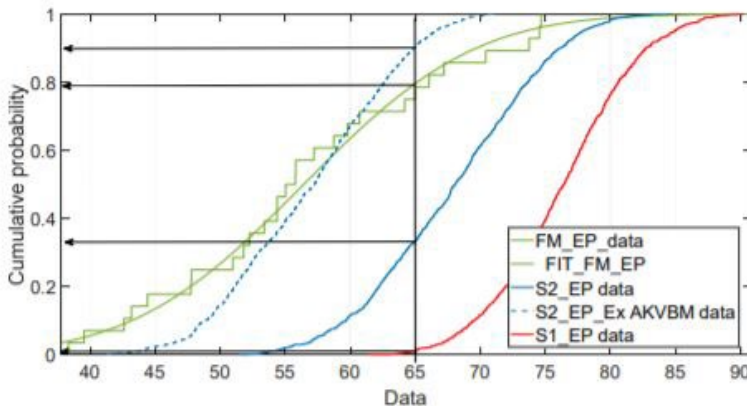
I studien användes först det traditionella deterministiska angreppssättet för att bestämma energiprestandan vid renovering av småhus från 1960- och 1970-talet. Ekström identifierade då problematiken i att konsekvenserna av en åtgärd som ämnar att vara energibesparande inte på ett tillförlitligt sätt kan utvärderas med traditionella beräkningar. Detta ledde till att författaren började undersöka möjligheterna att använda flera värden på samma parameter med en fördelning efter hur sannolika värdena var. Resultaten jämfördes därefter med verkliga mätdata för hus som byggts med samma utformning flera gånger i Sverige. I nästa steg utvärderades också inverkan av indatas kvalitet på träffsäkerheten i beräkningarna. Detta gjordes genom att beräkna energiprestandans spridning med två olika scenarier som representerade olika detaljnivå i indata.

Ekströms avhandling från 2021 resulterade i en metod för hur probabilistisk teori kan användas i energiberäkningar som i sin tur kan utgöra underlag för riskanalys vid beslutsfattande. Metoden bestod av sex steg som presenteras nedan.

1. Identifiera det specifika projektets uppsatta gränsvärden och krav för energiprestanda.
2. Identifiera parametrar som påverkar energianvändningen.
3. Kvantifiera osäkerheterna i de identifierade parametrarna för att skapa en sannolik fördelning av värden.
4. Slumpmässigt generera uppsättningar av indata från de identifierade fördelningarna för respektive parameter.
5. Simulera energiprestandan för respektive uppsättning av indata för att få en serie tänkbara värden för energiprestandan.
6. Analysera risken att inte uppnå uppsatta gränsvärden och krav i steg 1.

Metoden testades bland annat i en fallstudie med flerbostadshus som byggts med samma utformning på flera olika platser i Sverige. Fallstudien gjordes med två olika scenarier, S1 och S2, som innebar olika kvalitet och detaljeringsgrad i energiberäkningens indata, där S1 hade en lägre detaljeringsgrad. Parametrar gällande klimatskal, luftbehandlingsaggregat, uppvärmnings- och styrsystem samt brukarbeteende tilldelades värden enligt en viss spridning. Värdena och spridningen för varje parameter bestämdes utifrån inhämtade data för respektive parameter och denna information sattes samman i de två scenarierna S1 och S2.

Resultatet visade att kvaliteten på indata var avgörande för hur nära de uppmätta värdena simuleringarna kunde komma, se figur 2. Det visade också att ytterligare studier behöver göras för att optimera indata för att komma närmare verkligheten.



Figur 2. Ackumulerad sannolikhet att uppmätt data, S1, S2 och S2 utan de externa faktorerna klarade kravet på 65 kWh/(m²A_{temp} år). De externa faktorerna var vädring, inbyggd fukt samt förluster från köksventilation. Grön linje representerar uppmätt data, röd linje representerar S1, blå linje representerar S2 och blåstreckad linje representerar S2 utan externa faktorer. Källa: (Ekström, 2021).

Resultatet visade att det var möjligt att ge en bild av en byggnads sannolikhet att klara de ställda energikraven men hur trovärdig bilden var berodde på kvaliteten på indata. Genom att presentera en spridning av värden på en byggnads energianvändning snarare än ett enda värde kunde metoden visa en mer verklighetstrogen bild. Eftersom de uppmätta värdena varierade mellan de olika, till utformning likartade byggnaderna, borde även resultaten från energiberäkningen göra det. Resultaten visade även att det kunde vara stor spridning i uppmätt energianvändning. I de studerade flerbostadshusen varierade den totala uppmätta energianvändningen mellan 40 och 80 kWh/(m²A_{temp} år). Ekström kom också fram till slutsatsen att vidare utveckling av datakvaliteten var nödvändig för tillräcklig noggrannhet i beräkningarna. I framtiden trodde Ekström att metoden kan komma att användas som ett stöd vid beslutfattande i projekteringsfasen där en kvantifierad risk kan vägas mot konsekvens. Att parametrarna i framtiden anges som en spridning av värden ger också en tydlig bild för leverantörer av produkter med stor spridning att ökad kvalitetskontroll kan vara gynnsam. En nackdel som också presenterades med metoden var att den var mer tidskrävande än den befintliga deterministiska metoden. Tidsåtgången ökade då fler simuleringar behövde göras med olika tänkbara kombinationer av indata samt att dessa simuleringar föranleddes av ett omfattande arbete med inhämtning av indata. Den krävde stor inhämtning av data men också en djupare förståelse i ämnet vilket i framtiden kan vara begränsande i händelse av implementering i branschen.

För att metoden ska få genomslag i branschen behöver den skrivas in i diverse standarder och myndighetskrav vilket enligt författaren hade ökat noggrannheten i energiberäkningarna i branschen generellt. En tanke som presenterades av Ekström var att entreprenörerna i framtiden skulle kunna tvingas äga och förvalta uppförda byggnader under en viss tid från färdigställandet för att öka incitamenten för en energiberäkning med hög noggrannhet. Programvarorna som används för energiberäkning idag behöver vid implementering av den nya metoden uppdateras och göras mer användarvänliga för att underlätta hanteringen av det probabilistiska angreppssättet, menade författaren.

3.1.2 Prediction of power and energy use in dwellings- “Förutsägelse av effekt- och energianvändning i bostäder”

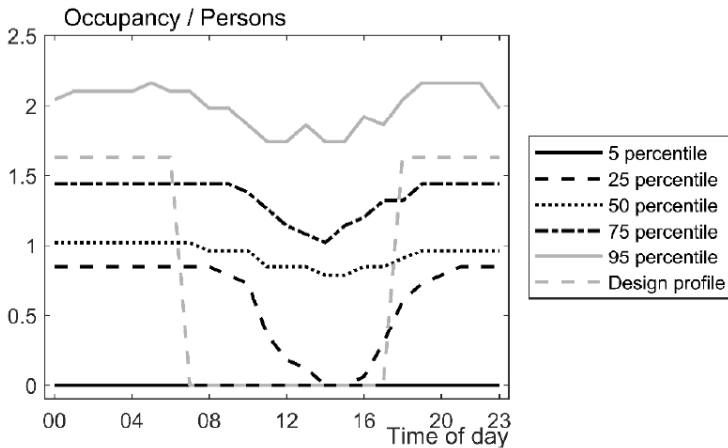
I Victor Franssons (2020) avhandling studerades brukarbeteende och dess inverkan på energianvändningen i bostäder. Dessutom undersöktes hur en byggnads termiska massa kunde utnyttjas för att minska andelen icke förnybar energi som används i bostadsbeståndet samt för att begränsa byggnaders effektbehov. Detta undersöktes genom att studera effekterna på inomhustemperaturen som ett stopp av värmeeffektillförsel från fjärrvärme orsakade. Avhandlingen omfattade endast studier av flerbostadshus men teorierna kring termisk massa och variationer i brukarbeteende kan vara relevanta för även andra typer av byggnader. När det gäller brukarbeteenden studerades främst hushållens el- och varmvattenanvändning. Andra parametrar i energibalansen kopplade till brukarna inkluderades inte, inte heller brukarbeteenden som påverkas av klimatet, exempelvis brukarstyrd solavskärmning eller vädring.

För att undersöka konsekvenserna av tillfälliga stopp i värmeeffektillförsel i flerbostadshus studerade Fransson flera typer av konstruktioner i IDA ICE. Byggnaderna delades upp i nära-nollenergibyggnader, byggnader som uppfyllde BBR-kraven samt byggnader

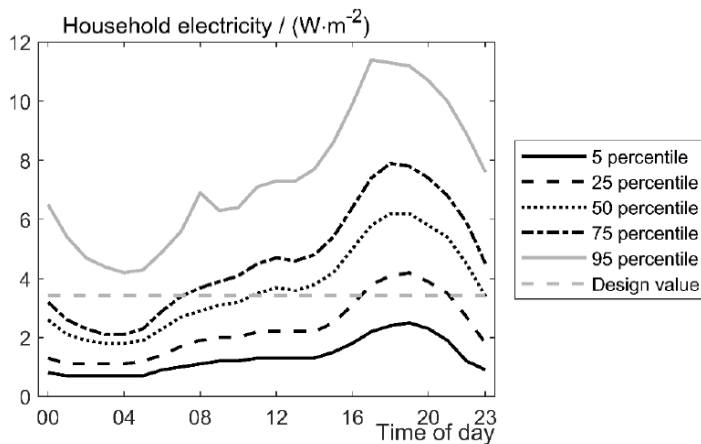
med 1960-talsstandard. Inom dessa grupper studerades både byggnader med tung stomme och lätt stomme. Tillförseln av värmeeffekt i byggnaderna ströps i olika intervall varefter inomhustemperaturen kontrollerades och översattes till ett PPD-index.

Utöver studien kring värmeeffektillförsel gjordes studier för att undersöka hur väl de standardiserade brukarprofilerna stämde med verkliga beteenden. Vidare undersöktes också hur energiberäkningar kunde förbättras genom att använda slumpmässigt valda brukarprofiler. Ett stort arbete i studien gällande brukarbeteende innebar att hantera stora mängder data för el- och varmvattenanvändning. Genom att gå igenom insamlade data kunde orimliga värden beroende på felaktig mätning bortses från. Efter kontroll kunde 1067 dataset användas vid simuleringarna.

I en av studierna uppmättes den genomsnittliga närvaron i 86 lägenheter och en graf genererades för hur närvaron och dess fördelningen såg ut i en 60 m² stor tvårumslägenhet. Denna graf jämfördes med det rekommenderade schemat som användes i branschen vid simuleringar i figur 3. Jämförelsen visade på skillnader mellan uppmätta värden och det rekommenderade schemat då exempelvis 50-percentilens kurva visade en närvaro på knappt en person mitt på dagen samtidigt som det rekommenderade schemat inte hade någon närvaro alls mitt på dagen. Eftersom det fanns svårigheter gällande intrång i privatlivet med att mäta människors närvaro i sina bostäder provades en ny metod. Den baserade närvaron i en bostad på användningen av vatten där en bostad ansågs tom om inget vatten användes på ett helt dygn. Användningen av hushållsel var lättare att mäta utan att göra intrång i människors privatliv och i avhandlingen studerades användningen på timbasis och jämfördes med det värde som vid tidpunkten användes i energisimuleringar i Sverige. Användningen visade sig variera enligt ett tydligt mönster över dygnet snarare än att anta ett enda värde som i simuleringarna, se figur 4. I avhandlingen simulerade Fransson med klimatdata över tio år från tre olika städer, Malmö, Stockholm och Kiruna. Av de 1067 brukarprofiler som insamlade data genererade valdes en profil slumpmässigt ut i datorprogrammet MATLAB för att sedan simuleras i IDA ICE.



Figur 3. Variationer i närvaro i tvårumslägenheter i jämförelse med det rekommenderade närvaroschemat som vid tidpunkten användes vid energiberäkningar i Sverige. Närvaron baserades på mätningar med elektroniska "dagböcker" i 86 lägenheter under 12–13 dagar. Källa: (Fransson, 2020).

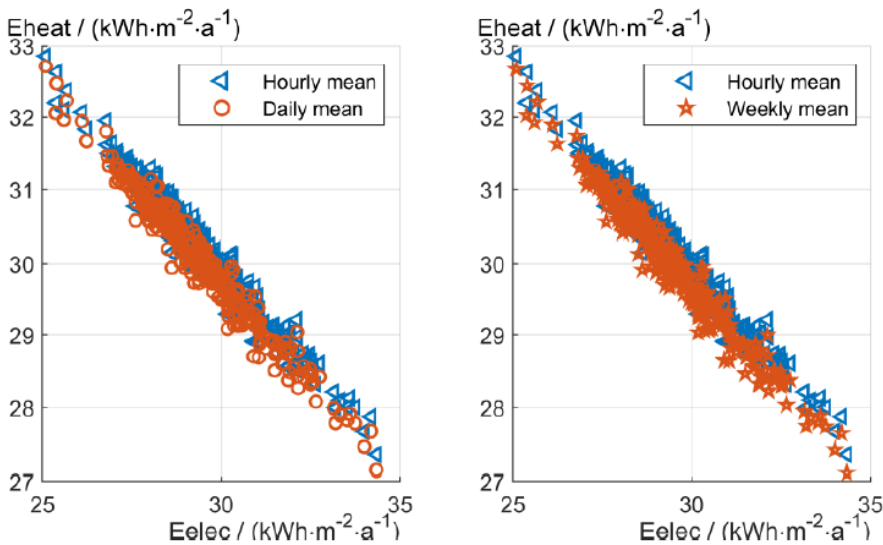


Figur 4. Variationer i användningen av el i drygt 1000 lägenheter i jämförelse med det rekommenderade värde som vid tidpunkten användes vid energiberäkningar i Sverige. Källa: (Fransson, 2020).

Resultatet visade att nära-nollenergibyggnader med tung stomme hade låg risk för dålig komfort när värmeeffekttilförseln stryptes i 4–8 h intervaller under olika tider på dygnet och att nära-nollenergibyggnader med lätt stomme klarade en avstängning i det kortare tidsspännat under förmiddagar. Däremot var förutsättningarna generellt sämre för byggnader som precis uppfyllde BBR:s krav och dessa klarade bara att hålla en tillfredställande komfort vid värmeeffektavstängningar om de hade tung stomme. För byggnader som var byggda efter 1960-talets byggnadsstandard blev komforten inte tillräcklig och metoden således inte heller lämplig. Studien visade också att gavellägenheter

hade större risk för låga inomhustemperaturer vid avstängning av värmeeffekttilförsel än mittenlägenheter.

När det byggs fler hus med bättre klimatskal är det ännu viktigare enligt Fransson att förstå hur brukarbeteendenas variation påverkar energianvändningen. Studien visade bland annat att brukarbeteendets variation hade större inverkan på energianvändningens spridning än vad variationen på dataupplösningen hade, se figur 5. Det visade sig också att hushållselanvändningen påverkade energibehovet mer i absoluta termer i kallt klimat men i varmt klimat var påverkan ännu större i relativa termer. Metoden att bedöma närvaron i en bostad baserat på vattenanvändningen gav en närvaroprofil som stämde väl överens med hur den rimligtvis borde sett ut. Bland annat ökade frånvaron under sommaren och under högtider.



Figur 5. Energi för uppvärmning som funktion av användningen av hushållsel. Till vänster jämförs timmedelvärde med dagsmedelvärde och till höger jämförs timmedelvärde med veckomedelvärde. Figuren visar att upplösningen på indata för hushållselanvändningen påverkade energianvändningen mindre än själva variationen i elanvändningen. Källa: (Fransson, 2020).

Studien visade att det fanns outnyttjad potential i en byggnadernas interna energilagring. Om denna potential nyttjades, exempelvis genom att värmeeffekttilförseln stryptes, kunde det leda till att användningen av icke-förnybar energi minskade. Vad gäller brukarbeteende sammanfattade Fransson det som att uppvärmningsbehovet kunde variera $\pm 40\text{--}60\%$ för de mest extrema brukarna och $\pm 5\text{--}20\%$ för de 50 % mest vanliga brukarprofilerna.

I framtiden föreslog Fransson ett mer intradisciplinärt angreppssätt med studier som inkluderar funktion, miljöpåverkan och ekonomi samtidigt. Författaren menade också att det finns anledning att fundera på om det i framtiden går att skriva om byggreglerna så att en byggnads energianvändning kan beskrivas som en naturlig variation av värden.

3.1.3 Energy use in hotels and low-energy schools- “Energi-användning i hotell och lågenergiskolor”

I Branko Simanics (2020) avhandling undersöktes beräknad och uppmätt energianvändning med fokus på att identifiera vilka brukarrelaterade parametrar som hade stor påverkan på den totala energianvändningen. Brukarrelaterade parametrar menade författaren var drift och underhåll, brukarrelaterade aktiviteter och inomhusklimat. Fallstudien avgränsades till fem hotell i Stockholm inom samma hotellkedja, Scandic, samt till sju lågenergiskolor som liknade varandra och byggdes mellan åren 2014–2017. Huvudsyftet med avhandlingen var att bidra till att uppnå klimatmålen för byggnaderna och förbättra dess energianvändning. Syftet med att studera hotellbyggnaderna var att analysera uppmätt energianvändning samt vilka parametrar som påverkade den totala energianvändningen. För lågenergiskolorna var syftet att analysera uppmätt energianvändning och brukarrelaterade parametrar och hur dessa påverkade den totala energianvändningen, samt jämföra beräknade värden med uppmätt energianvändning.

Metoden som användes i Simanics avhandling var att genomföra litteraturstudier, platsbesök, energibesiktningar samt mätningar under längre perioder för att samla in uppmätt data av olika slag. Fallstudier genomfördes med fokus på de fem hotellen och sju lågenergiskolorna för att få en djupare förståelse för byggnadernas energianvändning och hur brukarrelaterade parametrar påverkade. Datorprogrammet Excel nyttjades sedan för att sammanställa och beskriva uppmätta data med tabeller, diagram samt för användning av linjär regressionsanalys och determinationskoefficient. Byggnadssimuleringsprogrammet IDA ICE användes för att modellera upp tre lågenergiskolor för att studera hur brukarrelaterade parametrar påverkade den beräknade energianvändningen i jämförelse mot den uppmätta.

En linjär regressionsanalys genomfördes för de fem hotellen med avsikt att se hur de oberoende faktorerna graddagar, antal nattgäster och antal serverade måltider, påverkade de beroende faktorerna, värmeenergi och elektricitet. Värdet på determinationskoefficienten, R^2 , angav hur starkt de oberoende faktorerna påverkade de beroende faktorerna. Vid ett värde på determinationskoefficienten mellan 0,8 och 1 ansågs den oberoende faktorn starkt påverka den beroende faktorn och för ett värde mellan 0,6 och 0,8 ansågs den oberoende faktorn signifikant påverka den beroende faktorn. Vid ett lägre värde än 0,6 ansågs inte den oberoende faktorn med säkerhet påverka den beroende.

Regressionsanalysens determinationskoefficient, R^2 , visade att endast graddagar för tre av hotellen kunde vara en påverkande oberoende faktor av hotellbyggnadens energianvändning. Resterande oberoende faktorer kunde inte uteslutande påvisa att de påverkade energianvändningen för samtliga hotell. Anledning till att hotell M och K inte kunde påstås påverkas av graddagar till skillnad från de tre andra hotellen kunde vara att hotell M hade tre våningar under mark och att hotell K även hade en spaavdelning med pool. Vidare påvisade ingen oberoende faktor någon påverkan av elektricitetsanvändningen då determinationskoefficienten var väldigt låg för samtliga fall. Anledningen till detta utfall kunde vara att byggnaden inte värmdes av el och att hotellens verksamhet verkade 24 timmar alla veckans dagar vilket lede till att ventilationen i de allmänna utrymmena var på nästan konstant nivå hela tiden. Energin och

elektricitetsanvändning skiljde markant mellan hotellen trots att hotellen var av liknande karaktär, inom samma hotellkedja och inom samma område. Resultaten visade på att de kunde ge missvisande siffror som inte kunde användas som underlag för exempelvis framtida investeringsbeslut menade Simanic.

Vidare gav resultatet för fallstudien med hotellbyggnaderna att den totala genomsnittliga energianvändningen varierade för de fem olika hotellen mellan 203 och 353 kWh/(m²A_{temp} år). Även den totala genomsnittliga elanvändningen varierade mellan hotellen från 87 till 131 kWh/(m²A_{temp} år).

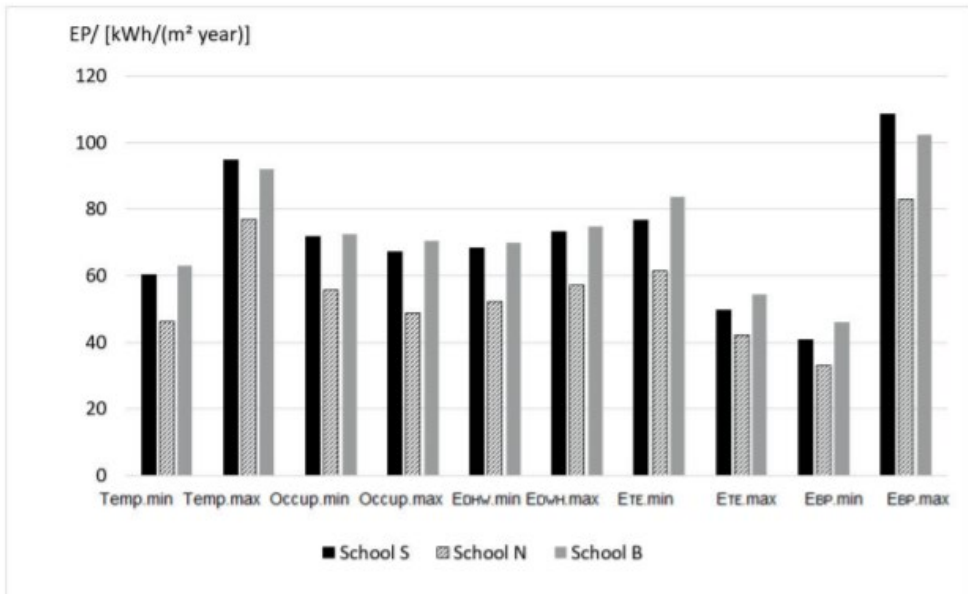
Resultatet av den beräknade och uppmätta energianvändningen för de sju lågenergiskolorna, samt skillnader mellan dessa värden redovisas i figur 6, där EP var byggnadens energianvändning, E_{SH} var energianvändningen för rumsuppvärmning, E_{BP} var energianvändningen för fastighetsel, E_{DHW} var energianvändningen för varmvattentillförseln, E_{DHW-rec} var energianvändning för varmvattencirkulation och E_{TE} energianvändningen för hushållsel. Skillnader mellan beräknad och uppmätt energianvändning för de sju lågenergiskolorna skiljde mer eller mindre för samtliga skolor och inom de olika energianvändningsområdena.

Energy	Schools							Average/St. dev
	S	N	K	B	Vi	Ve	St	
EP calculated	37.8	62.0	38.5	37.4	51.0	40.0	65.6	47.7/12.1
EP measured	33.8	51.1	48.4	26.3	49.8	56.0	79.1	49.2/16.8
EP diff (%)	-12.3	-21.3	+19.4	-44.5	-2.4	+28.5	+16.5	
E _{SH} calculated	21.2	43.0	25.3	24.0	43.1	21.0	16.2	27.7/11.0
E _{SH} measured	11.9	32.7	28.5	9.9	42.0	29.2	62.6	31.0/18.0
E _{SH} diff (%)	-43.6	-24.0	+12.6	+58.7	-3.0	+39.0	+284.1	
E _{BP} calculated	12.6	13.0	9.2	11.4	5.7	15.0	37.9	15.0/10.5
E _{BP} measured	17.6	11.4	13.9	8.8	6.1	20.1	10.1	12.6/5.0
E _{BP} diff (%)	+39.6	-12.3	+51.1	-22.8	+7.0	+34.0	-73.4	
E _{DHW} calculated	4.0	4.0	4.0	1.0	2.0	4.0	11.5	4.4/3.3
E _{DHW} measured	4.3	3.1	3.1	1.2	1.7	6.7	6.4	3.8/2.1
E _{DHW} diff (%)	+7.5	-22.3	-22.5	+20.0	-15.0	+67.5	-44.3	
E _{DHW-rec} calc.		2.0		1.0				1.5/0.7
E _{DHW-rec} meas.		3.9	2.9	6.4				4.4/1.8
E _{DHW-rec} diff (%)		+95.0		+540				
E _{TE} calculated	7.8	19.0	8.0	16.1	17.0	28.0	4.7	14.4/8.1
E _{TE} measured	22.3	19.2	31.9	24.2	13.3	48.2	25.5	26.4/11.1
E _{TE} diff (%)	+185.0	+1.0	+300.0	50.3	-20.0	+70.9	+442.1	

Figur 6. Bild över tabell för de sju skolornas beräknade och uppmätta energianvändningar och skillnader mellan dessa för respektive skola. Källa: (Simanic, 2020).

Skillnaden mellan beräknad och uppmätt EP varierade mellan +29 % och -45 % för de olika skolorna. Dock var den genomsnittliga beräknade EP för alla sju lågenergiskolorna 48 kWh/(m²A_{temp} år) och den uppmätta 49 kWh/(m²A_{temp} år). Författaren menade dock att skillnaderna mellan varje individuell skola visade på att varje ny skola borde analyseras individuellt.

För att undersöka påverkan som brukarrelaterade parametrar hade på energianvändningen hade 25 slumpmässiga uppmätta kombinationer av brukarrelaterade parametrar samlats in från de sju skolorna, det vill säga verkliga förekommande värden. Dessa användes sedan som indata vid beräkning av tre av dessa skolor i datorsimuleringsprogram. Resultatet för de tre lågenergiskolornas beräkningar gav att byggnadens energianvändning varierade mellan ungefär 30 till 110 kWh/(m²A_{temp} år) och där varje energianvändningsparameter, samt temperatur och antalet brukare varierade som i figur 7.



Figur 7. Maximala och minimala värdet av resultat från simulering av tre lågenergiskolor för dess, temperatur, antal brukare, energianvändning av varmvatten, energianvändning för hushållselen och energianvändningen för fastighetsel. Källa: (Simanic, 2020).

De brukarrelaterade parametrarna så som brukarrelaterade aktiviteter och inomhus-temperaturer hade en betydande påverkan på energianvändningen och dessa parametrar påverkade hur nära den beräknade energianvändningen kom den uppmätta. En praxis i svensk byggindustri är att den beräknade energianvändningen får skilja ±10 % från den uppmätta, en praxis som endast en lågenergiskola i studien uppnådde. Detta visade på svårigheterna i att förutspå och beräkna de brukarrelaterade parametrarna och författaren menade att fler lågenergibygnader behövde studeras.

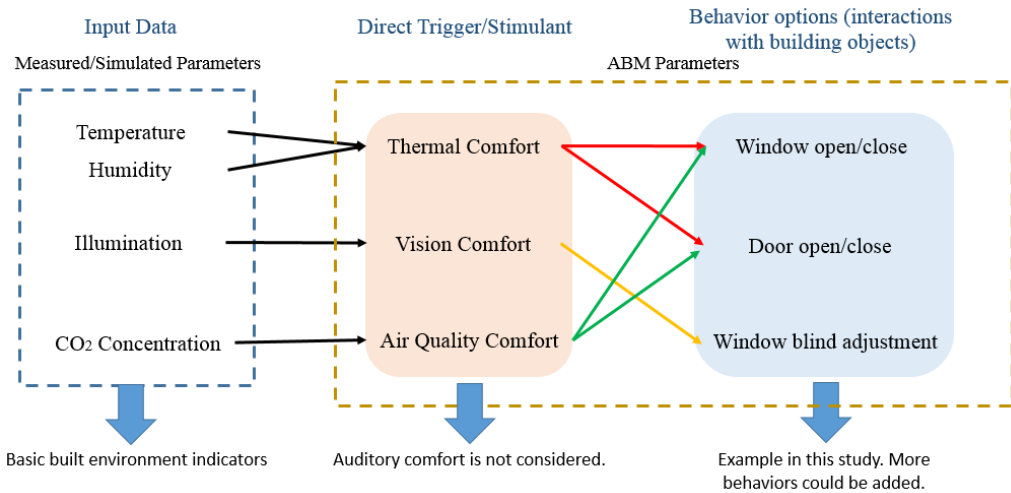
3.2 Internationella studier

Fyra internationella studier presenteras i följande avsnitt med syfte att ge en omvärldsblick i den forskning som bedrivs i ämnet. Precis som de svenska avhandlingarna behandlar de internationella artiklarna svårigheterna att få hög noggrannhet i energiberäkningar och hur indata kan hanteras vid energisimuleringar. Stort fokus finns även i dessa artiklar på brukarbeteende och hur det mänskliga beteendets slumpmässighet kan modelleras.

3.2.1 Exploring the validity of occupant behavior model for improving office building energy simulation- “Validering av modelleringsindata för brukarbeteende för att förbättra energisimulering av kontorsbyggnader”

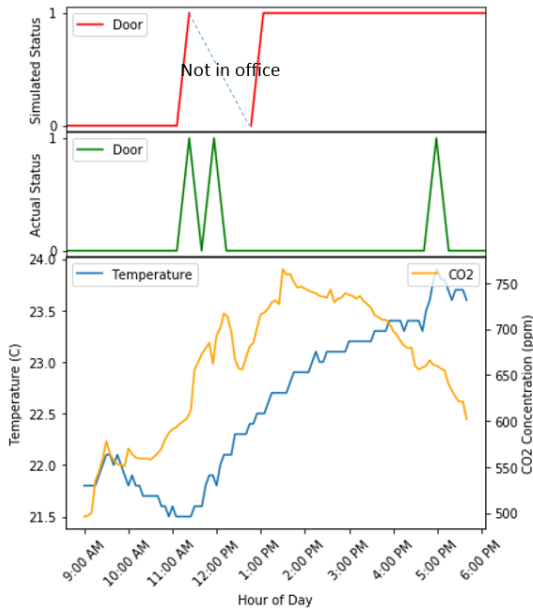
I artikeln av Jia, Srinivasan, Ries och Bharathys (2018) undersöktes hur brukarvanorna i en kontorsbyggnad påverkade energianvändningen genom att använda sig av en typ av beräkningsmodell med insamlade data och uppmätta värden. Undersökningen fokuserade på hur brukarna interagerade med byggnaden vilket författarna menade hade en väsentlig påverkan på byggnadens energianvändning. Det som främst undersöktes var hur brukarna öppnade och stängde fönster och dörrar och hur de använde solavskärmning. Undersökningen genomfördes under en vår för ett kontorsrum på tredje våning på University of Florida Campus, USA.

Mätningar genomfördes i kontorsrummet med hjälp av en mätare som samlade in data om rummets miljö i form av temperatur, fuktighet, ljusstyrka och koldioxidkoncentration var femte minut. Samtidigt samlades brukarvanor in genom att kontorsanvändaren fyllde i ett papper var 15:e minut där de meddelade hur fönster och dörrar var öppnade eller stängda och hur persienner var uppdragna eller ej. För kontorsrummet i undersökningen var det även sensorer som samlade in dessa brukarvanor. Genom att använda en typ av beräkningsmodellering kunde författarna simulera hur brukarna i en kontorsbyggnad betedde sig beroende på rummets temperatur, fuktighet, ljusstyrka och koldioxidkoncentration, se figur 8.



Figur 8. Förtydligande bild över hur mätningarna och brukardata hängde ihop i modelleringen. Källa: (Jia, et al., 2018).

Undersökningen av kontorsrummet under en slumpmässig dag visade på att persiennerna för fönstret var nedrullade i slutet på dagen, något författarna menade berodde på att solen kom in lägre från väst senare mot eftermiddagen. Huruvida fönstret var öppet eller ej var svårt att härleda till rummets miljö, då öppningsfrekvensen berodde på fler parametrar menade författarna. Exempelvis menade de att fönster inte öppnades lika frekvent i regn och kallt utomhusklimat även om rummets miljö inte var trivsamt. Resultatet visade på att dörren öppnades mer frekvent än fönstren under mätningsperioderna. Dörren till kontoret öppnades en slumpmässig dag enligt figur 9, vilket visade på att dörren öppnades när koldioxidhalten blev för hög och brukaren ansåg rummet mindre trivsamt under eftermiddagen.



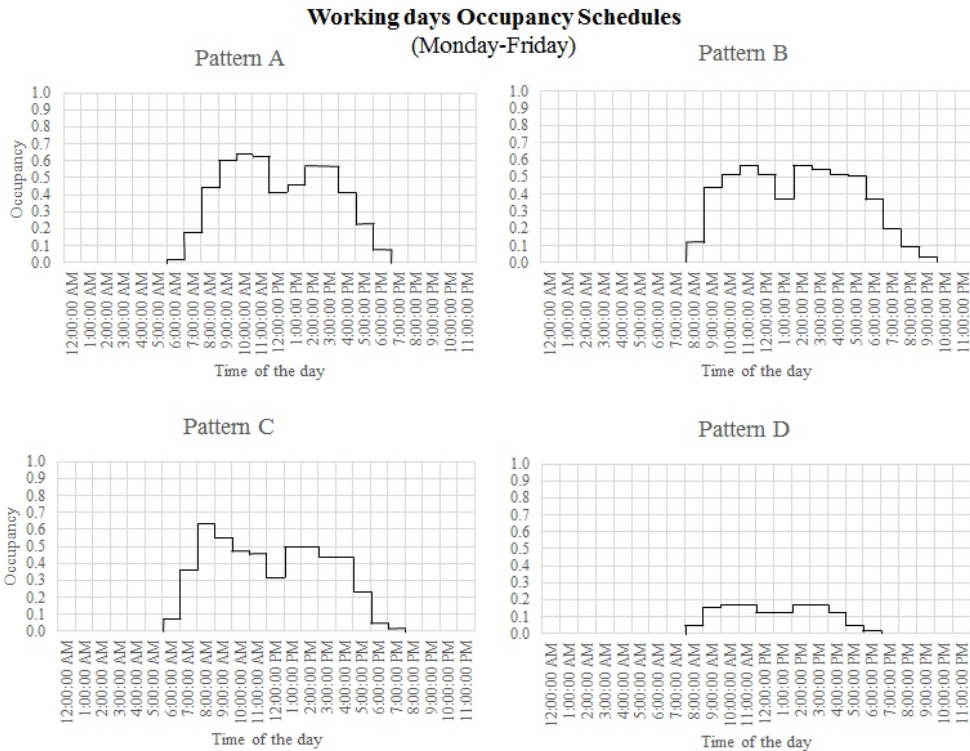
Figur 9. Resultat över hur dörren in till kontoret var öppen och stängd under dagen, där 1 innebär att dörren var öppen och 0 att dörren var stäng. Källa: (Jia, et al., 2018).

Författarna ansåg att den beräkningsmodellering som användes genom undersökning fungerade väl då metoden klarade av att hantera hur brukarvanor var beroende av en byggnads inomhusmiljö. I denna undersökning studerades dock endast tre brukarvanor, öppning av fönster och dörrar samt användning av persienner, och det finns fler parametrar och faktorer att studera i framtida studier gällande beräkningsmodellering menade författarna.

3.2.2 Occupancy schedules learning process through a data mining framework- "Kunskapsåterföring gällande brukarbeteende genom användning av en datautvinningsprocess"

I artikeln av D'Oca och Hong (2015) analyserades en stor mängd insamlade data om brukar användares beteendemönster i en kontorsbyggnad. Studiens metod var att använda sig av en datautvinningsprocess i form av Knowledge Discovery in Databases (KDD) för att hantera insamlade brukarmönster. Brukar data i form av huruvida brukarna var på plats på sitt kontor i förhållande till dag och tid på dygnet samlades in från 16 kontorsrum. Kontorsbyggnaden var placerad i Frankfurt och de 16 kontorsrummen hade en eller två brukare och data samlades in var tionde minut under två års tid. Insamlade data hanterades i en beslutsträdsmodell, varefter de observerades och klassificerades med hjälp av en "rule-introduction algorithm". I sista steget genomfördes en klusteranalys så att den stora mängden data samlades i mindre kluster, grupper, som var av liknande värden och på detta vis gjordes den stora mängden av brukarmönster hanterbara.

Resultatet visade i klusteranalysen att fyra grupper blev aktuella i denna studie, som sedan kontorsrummen delades i beroende på dess beläggning. De fyra brukarmönstergrupperna blev A= högst beläggning, måndag till fredag, B= medelbeläggning, måndag till fredag, C= stor variation av beläggning, hög beläggning måndag, tisdag och torsdag annars mindre beläggning och D= låg beläggning måndag till fredag. Genom denna indelning av beläggningen blev mätdata hanterbar och de fyra olika brukargrupperna kunde kopplas till fyra brukarscheman under ett slumpmässigt dygn vilket tydliggjorde hur kontorsbyggnaden användes. Det slumpmässiga dygnet byggde på statistik från hela mätperioden på 2 års tid där det visade på sannolikheten att kontorsrummet användes under den aktuella timmen. Brukarnas scheman för respektive brukarmönstergrupp redovisas i figur 10.



Figur 10. Förtydligande diagram över sannolikheten att brukarmönstergrupperna var på ett kontorsrum under ett dygn där y-axelns varierade från ett till noll. En etta innebar att brukarna var på kontorsrummet hela tiden under den aktuella timmen och noll att de inte befann sig i kontorsrummet. Källa: (D'Oca & Hong, 2015).

Denna studie menade författarna visade på att datautvinningsprocesser kunde användas för att få en förståelse över hur brukarmönstret ser ut i byggnader, då de kunde bryta ner stora mängder indata till hanterbara mönster. En beslutsträdmodell menade de vidare kunde användas för att lättare förstå brukarmönster och hur dessa påverkade byggnadens

energianvändning. Även om brukarmönster bröts ner till fyra grupper fanns det variationer i hur kontorsrummen brukades under timmarna och under veckodagarna. Detta visade på att varje specifikt brukarmönster inte passade på varje brukarmönstergrupp. I studien förekom därför skillnader och resultaten blev mer generella. I framtiden skulle fler undersökningar och studier därför behöva genomföras för att minska skillnaderna mellan förutsedd energianvändning och den faktiska menade författarna.

3.2.3 A critical review of observation studies, modeling, and simulation of occupant behaviors in offices- “En kritisk granskning av observationsstudier, modellering, och simulering av brukarbeteenden i kontorsbyggnader”

I artikeln av Gunay, O’Brien, och Beausoleil-Morrison (2013) utfördes en litteraturstudie och sammanställning av aktuell kunskap för att utreda hur brukarbeteende hanterades vid energiberäkningar för kontorsbyggnader. Litteraturstudien delades upp i tre delar, datainhämtning, modellering och simulering. Författarna utvärderade aktuella metoder inom de tre delarna samt identifierade svagheter och styrkor hos dessa.

Resultatet gällande datainhämtning för brukarbeteende i kontorsbyggnader visade bland annat att det var svårt att avgöra vilka fysiska faktorer som påverkade ett specifikt brukarbeteende. Ett exempel på metod för datainhämtning som nämndes i artikeln var att fotografera en fasad för att avgöra huruvida brukarstyrd solavskärmning användes och i vilken utsträckning. Metoden var effektiv för att visa just detta men sade ingenting om anledningarna till att brukarna valt att använda eller inte använda solavskärmning. Att ha solavskärmning för fönstret kunde bero på exempelvis inomhustemperatur, behov av insynsskydd från angränsande fastigheter samt skydd av elektronisk utrustning. Att välja att inte använda solavskärmning kunde bero på önskan om utsikt eller behov av dagsljus. Solavskärmningen var också ett exempel på hur en aktion och dess motaktion berodde av olika fysiska parametrar. Ett annat exempel var vädring genom att ha öppna fönster. Att öppna fönstret kunde bero på de fysiska parametrarna inomhustemperatur eller kvaliteten på inomhusluften. Å andra sidan kunde utomhusklimatet eller bullernivån avgöra om fönstret skulle stängas.

Vissa brukarbeteende kunde enligt författarna också bero på vanor, kultur eller samhällsnormer. Ett exempel på en sådan parameter var vilken klädsel som brukarna hade, vilket i sin tur styrde vilket inomhusklimat som ansågs komfortabelt. Författarna identifierade en problematik i att inhämta data kring brukarna och i sin tur koppla inhämtade data till fysiska parametrar. Författarna nämnde dock att det visade sig att brukarna i en kontorsbyggnad tenderade att aktivt försöka minska sin energianvändning om de fick någon typ av återkoppling på byggnadens energianvändning. Ett exempel på en sådan återkoppling var en monitor som visade energianvändningen för olika energiposter i byggnaden.

Författarna drog slutsatsen att ett deterministiskt angreppssätt för energimodellering inte gav en särskilt representativ bild av verkligheten då flera brukarrelaterade parametrar kunde anses anta slumpmässiga värden. Författarna nämnde flertalet metoder för att modellera sannolikheten för diverse beteenden där svårigheten till viss del låg i att det krävdes en modell för en aktion men en helt annan modell för en motaktion. Det var

också svårt att avgöra hur lång tid det tog från det att en fysisk parameter nådde ett gränsvärde till dess att en viss aktion skedde. Ett sätt som författarna nämnde som ofta används för att kontrollera energianvändningen i en byggnad var automatisering av diverse funktioner, exempelvis solavskärmning. Det visade sig att denna automatisering ofta överlistades av brukarna och således inte användes i verkligheten. I framtiden föreslog författarna att använda sig av smartare automatisering som lär sig av brukarnas beteende. Gällande simulering påpekade författarna att brukarbeteenden skedde i oregelbundna tidssteg vilket gjorde de svåra att simulera. Om simulering gjordes i fasta tidssteg fanns risk att information om brukarbeteenden gick förlorade. För att minska denna effekt krävdes att simuleringen gjordes i väldigt korta tidssteg.

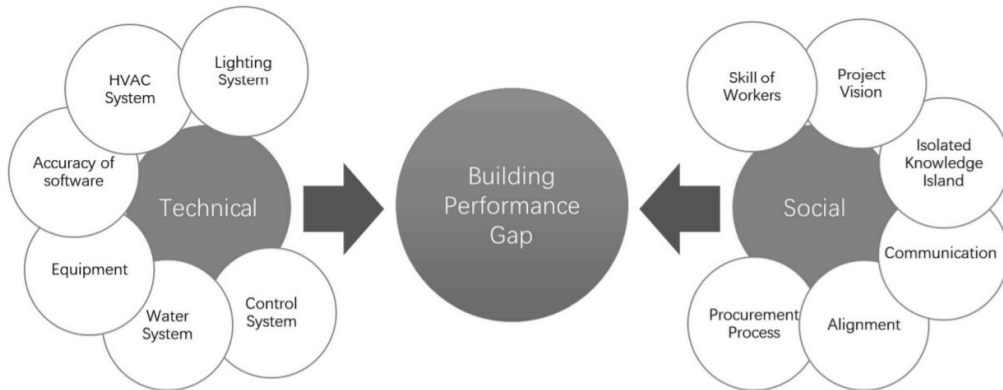
3.2.4 A holistic approach to evaluate building performance gap of green office buildings: A case study in China- "Ett holistiskt angreppssätt för att utvärdera skillnader mellan beräknad och uppmätt prestanda i gröna kontorsbyggnader- En fallstudie i Kina"

Författarna Wu, Lin, Papachristos, Liu och Zimmermann (2020) undersökte i sin studie skillnaden mellan beräknad och uppmätt energiprestanda i kontorsbyggnader i Kina och Storbritannien. Eftersom byggnader som vid projektering klassades som energieffektiva och "gröna" ofta använde mer energi i verkligheten än byggnader som inte var klassade som "gröna" fanns det enligt författarna anledning att undersöka varför de "gröna" byggnaderna presterade bättre under projekteringsfasen än i verkligheten. Om skillnaden mellan beräknad och uppmätt energiprestanda var för stor menade författarna att det kunde undergräva syftet med att klassa byggnader som energieffektiva om denna standard inte uppfylldes under driftskedet.

Metoden som användes i studien bestod av en litteraturstudie i ämnet samt en fallstudie av en kontorsbyggnad i Kina. Byggnaden färdigställdes 2010 och var lokaliserad i ett klimat med varma somrar och kalla vintrar. Den hade sju våningar ovan mark vilket motsvarade en höjd på drygt 20 meter. För den aktuella byggnaden hade både data samlats in och intervjuer hållits med flera personer kopplade till driften av byggnaden. Byggnaden i Kina jämfördes också med en byggnad i Storbritannien och de var båda byggda enligt högsta energistandard i respektive land. Dessutom var de båda kontorsbyggnaderna i närtid färdigställda och av ungefär samma storlek. I studien simulerades också olika scenarion som representerade olika kvalitet ur energisynpunkt i projekten. En god kvalitet i denna fallstudie definierades som liten skillnad mellan beräknad och uppmätt energiprestanda. Faktorerna som varierades i de olika scenariona var initial inriktning på projektet, kontroll utefter projektets gång och samverkan mellan aktörer. Vid starten av alla projekt sattes kvaliteten till 1 varefter den sjönk under projektets gång.

Resultatet av litteraturstudien visade att många kontorsbyggnaders verkliga energianvändning avvek väsentligt från det beräknade värdet. I författarnas litteraturstudie presenterades en studie av John H. Scofield från 2013 som undersökte 21 LEED-certifierade kontorsbyggnader. Den visade att majoriteten av dessa presterade sämre än förväntat och att bara 10 av dem använde mindre energi än snittet för alla kontorsbyggnader i det aktuella geografiska området.

De faktorer som gör att det fanns en skillnad mellan beräknad och uppmätt energianvändning delade författarna upp i två grupper, tekniska och sociala, se figur 11. De tekniska faktorerna innefattade exempelvis simuleringsprogramvarans begränsningar och de valda tekniska systemens prestanda medan de sociala faktorerna exempelvis innefattade brukarbeteende samt kommunikation mellan aktörer i projekteringsfasen och aktörer i produktionsfasen.



Figur 11. Författarnas indelning av faktorer vilka bidrar till skillnad mellan beräknad och uppmätt energiprestanda i byggnader. Källa: (Wu, et al., 2020).

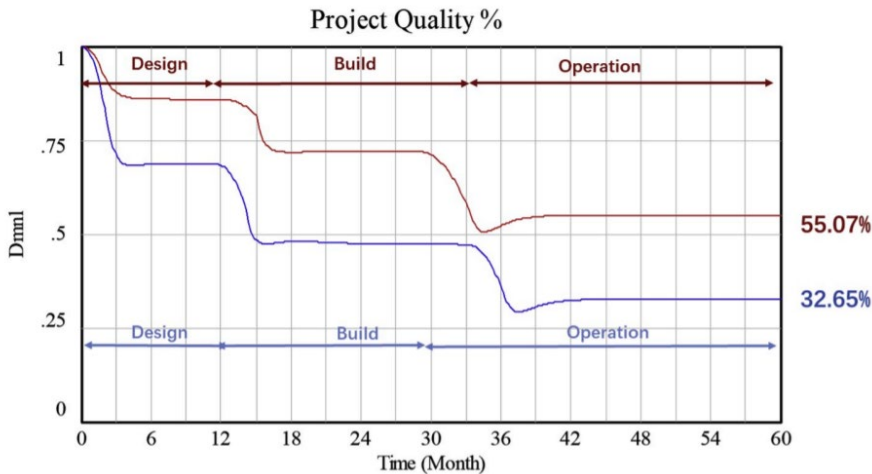
Vid jämförelse mellan beräknad och uppmätt energianvändning delade författarna upp avvikelserna i olika poster för att kunna analysera vilka som skiljde sig åt, se figur 12. Det visade sig att skillnaderna mellan projekterade och uppmätta värden kunde vara både positiva och negativa ur energianvändningssynpunkt. Exempelvis visade sig personbelastningen vara överskattad under projektering samtidigt som byggnadens uppvärmnings- och kylsystem presterade sämre i verkligheten än vad som angetts under projektering.

Energianvändning i kontor

Root Causes	Designed Values	Measured Values	Relative Deviation from Design	Units	For Energy Use
Heating System Efficiency	4.9	2.4	-0.51	-	Higher the better
Cooling System Efficiency	4.8	2.1	-0.56	-	Higher the better
Office equipment power density	20	7.07	-0.65	W/m ²	Lower the better
Occupant density	0.25	0.11	-0.57	People/m ²	Lower the better
Lighting Density	9	7.6	-0.16	W/m ²	Lower the better
Heating Set point	18	24	0.33	deg C	Lower the better
Occupancy Schedule	9.45	6.57	-0.30	hours/day	Lower the better
Infiltration	0.2	0.31	-0.51	ach/hour	Lower the better

Figur 12. Projekterade och uppmätta värden för flertalet faktorer i den studerade kontorsbyggnaden. Faktorerna markerade i grått presterade bättre ur energianvändningssynpunkt i verkligheten än vad som antagits vid projektering. Källa: (Wu, et al., 2020).

Resultatet av simuleringarna för de olika scenarierna visade att kvaliteten i ett projekt sjönk successivt utefter projektets gång. Att kvaliteten sjönk redan i inledningen av projekteringsfasen berodde främst på att diverse kompromisser behövde göras av budgetskäl. Därefter tappades kvalitet även i skiftet mellan olika faser på grund av bristfällig kommunikation och erfarenhetsåterföring mellan aktörer. Utöver de olika kvalitetsscenarierna simulerades även den faktiska kvaliteten för kontorsbyggnaderna i Kina respektive Storbritannien. Resultatet från dessa simuleringar visade att kvaliteten i projekten sjönk successivt mellan varje projektfas samt att projektet i Storbritannien generellt höll sämre kvalitet, se figur 13. En anledning som nämndes till varför kvaliteten generellt var sämre i projektet i Storbritannien var att byggnaden var producerad med en utförandentreprenad till skillnad från projektet i Kina som var producerad med en totalentreprenad. Författarna menade att risken att de sociala faktorerna mellan aktörer hade större negativ påverkan för kvaliteten, det vill säga en större skillnad mellan beräknad och uppmätt energianvändning, vid en utförandentreprenad än en totalentreprenad.



Figur 13. Diagram som visar hur kvaliteten i projektet sjönk utefter projektets gång. Röd linje representerar kontorsbyggnaden i Kina och den blåa linjen representerar kontorsbyggnaden i Storbritannien. Källa: (Wu, et al., 2020).

3.3 Diskussion litteraturstudie

Flera av de avhandlingar som presenteras i litteraturstudien belyser svårigheterna med att få hög noggrannhet i energiberäkningar och de tar alla upp brukarbeteendet som en faktor som skapar en stor osäkerhet. Det finns också svårigheter med att göra en kvalitativ jämförelse mellan uppmätta och beräknade värden då även de uppmätta värdena kan ha en stor spridning. I en av Ekströms studier påvisas att skillnaden i den totala uppmätta energianvändningen för byggnader med samma utformning kan vara så signifikant att den varierar mellan 40 och 80 kWh/(m²A_{temp} år). En skillnad påvisas även i Simanics studier på uppmätt energianvändning för lågenergiskolor som varierar mellan 26 och 79 kWh/(m²A_{temp} år). Dessutom skiljer sig den procentuella differensen mellan beräknad och uppmätt energianvändning från +29 % till -45 % mellan de olika lågenergiskolorna. Både Ekström och Fransson anser med bakgrund i det att beräknad energiprestanda för en byggnad presenteras mest rättvist som en spridning av tänkbara värden snarare än ett bestämt värde. Osäkerheterna i brukarrelaterade indata påverkar energianvändningen på olika sätt, och kan ha olika stor påverkan på beräkningsresultatet.

Majoriteten av de internationella artiklarna som presenteras innehåller studier som på flera sätt handlar om hur det mänskliga beteendet kan delas in och modelleras på ett så verklighetstroget sätt som möjligt. De tar också upp att det inte alltid går att säga vilka fysiska parametrar som påverkar olika beteenden. En av artiklarna fokuserar särskilt på brukarscheman i kontorsbyggnader och menar att det är svårt att förutspå hur byggnaden kommer användas vilket i sin tur påverkar noggrannheten i energiberäkningen. Den studie som fokuserar på skillnaden mellan beräknad och uppmätt energianvändning visar också på vikten av att analysera en byggnads energianvändning post för post i stället för att endast göra utvärderingar baserade på den totala energianvändningen. Eftersom olika

posters avvikelser från de projekterade värdena kan bidra till både högre och lägre energianvändning kan den totala uppmätta energianvändningen, trots stora avvikelser för de olika posterna, hamna nära den beräknade. Det är också värt att notera att de sociala faktorerna som påverkar avvikelser mellan beräknad och uppmätt energianvändning skiljer sig åt i storlek beroende på vilken form av entreprenad som väljs.

Sammanfattningsvis är det tydligt att förståelsen kring de brukarrelaterade parametrarna samt noggrannheten i indata för de tekniska systemen är nycklar för att få en större noggrannhet i energiberäkningar, vilket de refererade avhandlingarna och internationella studierna tillsammans påpekar. Trots att ingen av doktorsavhandlingarna i litteraturstudien innefattar studier för kontorsbyggnader kan resultaten anses applicerbara för olika typer av byggnader. Avhandlingarna anses ändå relevanta då de drar liknande slutsatser kring vikten av brukarrelaterade indata som de internationella studierna i kontorsbyggnader.

4 Metod

I följande kapitel beskrivs metoden för denna rapports utförda fallstudie. Kontorsbyggnaden Epic's uppbyggnad, brukar användningen och system beskrivs nedan, se figur 14 för en bild över hur Epic ser ut idag. Vidare presenteras och förklaras de val som görs i simuleringsprogrammet IDA ICE för att modellera Epic. Dessutom sammanställs de beräknade och uppmätta värden som simuleringen respektive mätdata från byggnaden ger.



Figur 14. Bild över kontorsbyggnaden Epic, som byggnaden ser ut under kvällstid. Källa: (Skanska Öresund, u.d.).

4.1 Epic

Kontorsbyggnaden Epic består av två byggnadsvolymer, hus A och hus B, med ett uppvärmt atrium som binder husen samman. Hus A är den norra byggnaden och hus B den södra. De båda husen avgränsas från atriet med innerväggar och glaspartier. Byggnaden är drygt 23 meter hög och består av sex våningsplan varav den översta i respektive hus är indragen för att bilda en terrass över delar av plan 5. Se tabell 3 för fördelning av uppvärmd area för respektive våningsplan. Kontorsbyggnaden togs i drift under december månad 2019. Epic är belägen i Malmö på Universitetsholmen med havsvatten precis intill i väst i form av Södra Varvsbassängen. Epic är omgiven av Malmö Universitets byggnader, inkubatorn MINC och STUDIO (Skanska Öresund, u.d.).

Tabell 3. Fördelningen av uppvärmd area för respektive våningsplan för hus A och B tillsammans.

Våningsplan	A _{temp} totalt hus A och B [m ²]
Plan 0	386
Plan 1	2638
Plan 2	2262
Plan 3	2292
Plan 4	2292
Plan 5	2292
Plan 6	1746
Totalt	13 908

Atriet på plan 1 används som en allmän samlings- och loungeplats samt som entré och de övre våningarna innehåller broar som kopplar samman hus A och B. Dessa broar är sammankopplade med trappor till varje plan samt med hissarna. I mitten av de båda husen ligger WC-områden och trapphus, samt schakt för installationer. Dessa områden är genomgående på samma ställen genom hela byggnaderna och består av bärande väggar av betong genom samtliga våningsplan. Under nordöstra delen av hus A samt in under atriet finns en källare med förråd och undercentraler.

Våningsplanen i hus A från plan 2 till plan 6 består av kontorsytor där samtliga plan är uppbyggda av mindre kontorsrum och mötesrum som avskiljs med korridorer. På plan 1 i huset finns ett gemensamt café för samtliga kontorsplatser i våningarna ovan. Dessutom finns ett större cykelgarage med omklädningsrum på plan 1.

Hus B är uppbyggt med öppna kontorslandskap på varje våningsplan med enskilda samtalsrum som kan nyttjas vid behov av avskilt arbete. På respektive våningsplan finns även ett mindre antal mötesrum. Dessutom finns det samlings- och loungeområden med större eller mindre pentrys i anslutning till de öppna kontorsplatserna. På plan 1 finns en allmän restaurang med tillhörande köksberedningsrum.

4.1.1 Systembeskrivning

Kontorsbyggnaden Epics klimatiseringssystem är dimensionerade för att ett tillfredsställande inomhusklimat ska uppnås. Vidare beskrivs förenklat hur de olika systemen är projekterade och dess börvärden. Informationen är hämtad från bygg- och relationshandlingar.

4.1.1.1 Värme- och kylsystem

Värmesystemet är dimensionerat med ett börvärde för lägsta inomhustemperatur på 22 °C och kylsystemet är dimensionerat med ett börvärde för högsta inomhustemperatur på 23 °C. Det vattenburna värmesystemet består främst av radiatorer med värmeförsel via fjärrvärme. Radiatorernas framledningstemperatur är 55 °C och returtemperaturen är 40 °C. Fjärrvärmens värmer även tappvarmvattnet samt utgör eftervärme i ventilationsaggregaten.

Epic kyls ner via fjärrkyla med en framledningstemperatur på 7 °C under sommaren. Byggnadens kylsystem består av ett högtempererat kylbaffelsystem som är självreglerande med framledningstemperatur på 20 °C. Det innebär att ju högre internlasterna är, och därmed också inomhustemperaturen, desto större blir temperaturskillnaden mellan baffel och inomhusluft. Vid större temperaturskillnad blir också utvunnen kyl-effekt större. På så sätt kan en lokalt högre inomhustemperatur få lokalt högre kyleffekt jämfört med intilliggande utrymmen, varför systemet kallas för självreglerande.

Epic är också utrustad med ett system med en frikyla. Det fungerar genom att uteluften, vid låga utomhustemperaturer, används till att sänka temperaturen i kylbafflarnas returledning. Det görs genom att returflödet från bafflarna passerar genom en kylväxlare i tilluftsaggregatet. Det gör att uteluftens temperatur höjs samtidigt som vattnet i kylbaffelsystemet sänks. På så sätt kan den värme som förs bort från byggnadens utrymmen via kylbafflarna användas till att värma tilluften. Detta sätt att utnyttja den kalla uteluften för att sänka temperaturen i kylkretsen utan att tillföra köpt kyla kallas för frikyla. Eftersom den huvudsakliga nyttan med frikyla är att sänka temperaturen i kylbafflarnas returledning styrs användningen av frikyla av byggnadens kylbehov. Därför används frikylasystemet främst under perioden maj till oktober.

4.1.1.2 Luftbehandling

Luftbehandlingssystemet dimensioneras med förutsättningen att koldioxidhalten inomhus vid uteluft med 400 ppm koldioxid som mest får vara 800 ppm. För att uppnå detta krav börjar byggnadens VAV-system forcera luft vid 600 ppm. Byggnaden tar in uteluft samt avger avluft via ventilationsgaller i fasaden på plan 6. Tilluften får tillfredsställande temperatur med hjälp av värmeväxling med frånluften samt vid behov även efterkylning alternativt eftervärmning beroende på säsong. Efterkylning görs med fjärrkyla och eftervärmning görs med fjärrvärme. Värmeväxlaren projekteras som vätskekopplad lamellvärmeväxlare. Av kontorsbyggnadens mötes-, kontors- och samlingslokaler förses ungefär 26 % med ett VAV-system med möjlighet till forcerat flöde medan byggnaden i övrigt består av ett CAV-system. Flödena redovisas i ventilationsritningar i relationshandlingarna och dessa flöden används som indata till energiberäkningsmodellen.

Ventilationsspjällen för respektive rum styrs på rummets koldioxidhalt samt inomhustemperatur. Ventilationsspjällen regleras genom dess öppningsgrad som i sin tur ändrar forceringen av rummets tilluft, överluft och frånluft. Gränsvärdet för när forcering av luftflöden i respektive rum börjar är vid en koldioxidhalt över 600 ppm och när rumstemperaturen överstiger 22 °C.

Epic är också utrustad med utökad dagdrift som sker med ett ventilationsflöde på 70 % av grundflödet i byggnaden utanför ventilationens schemalagda drifttid. Villkoren för att utökad dagdrift ska ske är att medelrumstemperaturen är högre än 23 °C samtidigt som det är varmare än 15 °C utomhus eller om det är varmare än 26 °C utomhus. Den utökade dagdriften stängs av igen när medelrumstemperaturer blivit lägre än 23 °C.

4.2 Modelleringsindata

Kontorsbyggnaden Epics energianvändning beräknas genom att byggnaden modelleras upp i datorprogrammet IDA ICE, som är ett simuleringsverktyg. Versionen på IDA ICE som används i denna fallstudie är 4.8. Genom simuleringar kan modellens energianvändning och termiska komfort förutses och beräknas fram. Se figur 15 för den färdiga modellen. Den energiberäkningsmetod och de val som gjorts vid modellering har tagits fram under examensarbetets gång i samarbete med Skanska och presenteras vidare i detta avsnitt.



Figur 15. Den uppbyggda modellen av kontorsbyggnaden Epic i IDA ICE.

4.2.1 Bygghandlingar

Bygghandlingarnas uppbyggnad och värmegenomgångstal ges i bygg- och relationshandlingarna. Utifrån ritningarna beräknas de U-värden som används i modellen. Värmemotståndet beräknas först för respektive materialskikt enligt ekvation 4 varefter U-värdet beräknas enligt ekvation 5. Eventuella påslag för infästningar och andra avvikelser i materialskikten görs för respektive bygghandling enligt Skanskas beräkningsverktyg för U-värdesberäkningar. Använda värmeövergångsmotstånd vid ytor anges i tabell 4

Tabell 4. Värmeövergångsmotstånd vid inner- och yttertytor som används vid beräkning av U-värden för byggnadens byggdelar (Arfvidsson, et al., 2017).

Byggnadsdel	R _{si} [m ² K/W]	R _{se} [m ² K/W]
Tak	0,10	0,04
Väggar	0,13	0,04
Icke uppvärmda golv	0,17	0,04

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (4)$$

$$U = R^{-1} \quad (5)$$

4.2.1.1 Tak

Kontorsbyggnaden Epic har två olika taktyper, en över plan 5 och en över plan 6. Taket över plan 5 används även som terrass och båda taktyperna täcks av vegetation. Värmeledningsförmågan för vegetationen och dess uppbyggnad försummas då foamglas respektive stenull dominerar i värmemotståndet. Betongbjälklagen är utförda som HDF- bjälklag men förenklas till massiv betong i U-värdesberäkningen. Beräkning av totalt värmemotstånd för taktyperna görs enligt tabell 5 och tabell 6.

Tabell 5. Beräkning av värmemotståndet, R, för takkonstruktion över plan 5.

Materialsikt	d [m]	λ [W/(mK)]	R [m ² K/W]
Inne	-	-	0,100
Betong	0,265	2,3	0,115
Foamglas	0,245	0,042	5,833
Ute	-	-	0,040
		R _{Tot}	6,089

U-värdet för takkonstruktion över plan 5 beräknas enligt ekvation 5.

$$U = R_{Tot}^{-1} = 6,089^{-1} = 0,164 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Tabell 6. Beräkning av värmemotståndet, R, för takkonstruktion över plan 6.

Materialsikt	d [m]	λ [W/(mK)]	R [m ² K/W]
Inne	-	-	0,100
Betong	0,265	2,3	0,115
Isolering stenull	0,300	0,036	8,333
Takboard	0,020	0,038	0,526
Ute	-	-	0,040
		R _{Tot}	9,115

U-värdet för takkonstruktion över plan 6 beräknas enligt ekvation 5.

$$U = R_{Tot}^{-1} = 9,115^{-1} = 0,110 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

4.2.1.2 Ytterväggar

Byggnaden har två olika ytterväggstyper med benämning YV001 och YV002 med enda skillnaden att YV001 har 120 mm isolering och YV002 240 mm isolering. Ytterväggstypen med mindre isolering finns framför allt i fasadpartier ovanför fönster. Beräkning av totalt värmemotstånd för väggtyperna görs enligt tabell 7 och tabell 8.

Tabell 7. Beräkning av värmemotståndet, R, för YV001.

Materialsikt	d [m]	λ [W/(mK)]	R [m ² K/W]
Inne	-	-	0,130
Betong	0,200	1,7	0,118
Isolering	0,120	0,031	3,871
Betong	0,060	1,7	0,035
Ute	-	-	0,040
		R _{Tot}	4,194

U-värdet för YV001 beräknas enligt ekvation 5 där påslag för infästningar, stegar och hårnålar görs.

$$U = R_{Tot}^{-1} + U_{fäste} + U_{stegar+hårnålar} = 4,194^{-1} + 0,008 + 0,008 = 0,254 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Tabell 8. Beräkning av värmemotståndet, R, för YV002.

Materialsikt	d [m]	λ [W/(mK)]	R [m ² K/W]
Inne	-	-	0,130
Betong	0,200	1,7	0,118
Isolering	0,250	0,031	8,065
Betong	0,060	1,7	0,035
Ute	-	-	0,040
		R _{Tot}	8,387

U-värdet för YV002 beräknas enligt ekvation 5 där påslag för infästningar, stegar och hårnålar görs.

$$U = R_{Tot}^{-1} + U_{fäste} + U_{stegar+hårnålar} = 8,387^{-1} + 0,004 + 0,004 = 0,127 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Vid modellering används endast en ytterväggstyp som har ett viktat U-värde med hänsyn tagen till hur stor yta av fasaden som består av YV001 respektive YV002. Detta görs då YV001 främst finns ovanför fönsterpartier. Då dessa väggdelar inte definieras som egna konstruktioner i IDA ICE går det inte att modellera dessa partier med en egen väggtyp. Efter mätning i fasadritningar fastställs att YV001 utgör 731 m² och YV002 2525 m². Beräkning av det viktade U-värdet görs enligt nedan.

$$U_{YV001} \cdot \frac{731}{731 + 2525} + U_{YV002} \cdot \frac{2525}{731 + 2525} =$$

$$= 0,254 \cdot \frac{731}{731 + 2525} + 0,127 \cdot \frac{2525}{731 + 2525} = 0,154 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

4.2.1.3 Innerväggar

Innerväggarna modelleras som två olika typer, bärande och icke bärande. Även om det finns över 30 olika innerväggstyper i projektets vägguppställning är det mest relevanta för energiberäkningsmodellen att modellera tunga och lätta väggar för sig för att modellen ska få en representativ termisk massa. De bärande innerväggarnas tjocklek mäts i ritningar till 250 mm massiv betong och dessa förekommer i huvudsak runt schakt, trapphus samt WC-områden på alla plan. De ickebärande innerväggarna modelleras som 30 mm isolering med 32 mm luftspalt och 26 mm gipsskiva på vardera sida isolering.

4.2.1.4 Fönster, glaspartier, dörrar och solavskärmning

Fönster, glaspartier och dörrar modelleras enligt projektets fönster- och dörruppställning. Nischdjup, bröstningshöjd och karmandel för respektive fönsterglasparti och dörrtyp mäts i ritningar och modelleras därefter. Fönsters, takfönsters och utvändiga glaspartiers U-värde är enligt ritningsföreskrifterna 0,9 W/(m²K) och dörrarnas U-värde är 1,5 W/(m²K). G-värdet för samtliga glas är 0,28. Solavskärmning modelleras som invändiga gardiner för alla mötesrum med fönster mot öst, syd och väst. Multiplikatorn för total avskärmningsfaktor är 0,44 och solavskärmningen modelleras som nedfälld vid soligt väder. Resterande fönster modelleras utan solavskärmning. Solavskärmningen på takfönster modelleras som alltid nedfälld.

4.2.1.5 Mellanbjälklag

Mellanbjälklagskonstruktionen mäter totalt 310 mm med HDF-bjälklag inklusive pågjutning. Ovanpå dessa 310 mm finns en golvbeläggning med ytterligare tjocklek på 20 mm. Konstruktionen modelleras som 310 mm massiv betong med 20 mm ytbeläggning av trä.

Mellanbjälklaget under de delar av byggnaden som hänger ut som konsol, och alltså är i direkt anslutning till utomhusmiljön, är isolerat med stenull. Beräkning av dess totala värmemotstånd görs enligt tabell 9.

Tabell 9. Beräkning av värmemotståndet, R, för mellanbjälklag under konsol.

Materialsikt	d [m]	λ [W/(mK)]	R [m ² K/W]
Inne	-	-	0,17
Betong	0,310	2,3	0,135
Isolering stenull skalmursskiva	0,240	0,034	7,059
Ute	-	-	0,040
		R _{Tot}	7,404

U-värdet för mellanbjälklag under konsol beräknas enligt ekvation 5.

$$U = R_{Tot}^{-1} = 7,404^{-1} = 0,135 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

4.2.1.6 Källarvägg

Källarväggen är uppbyggd av 200 mm betong med 200 mm utanpåliggande cellplast. Hänsyn till markens egenskaper tas ej i U-värdesberäkningen då dessa egenskaper tas i beaktning vid simulering i IDA ICE. Beräkning av väggens totala värmemotstånd görs enligt tabell 10.

Tabell 10. Beräkning av värmemotståndet, R, för källarvägg.

Materialsikt	d [m]	λ [W/(mK)]	R [m ² K/W]
Inne	-	-	0,13
Betong	0,200	1,7	0,118
Cellplast XPS 200	0,200	0,037	5,405
Ute	-	-	0,040
		R _{Tot}	5,693

U-värdet för källarvägg beräknas enligt ekvation 5 där inga påslag för infästningar, stegar och hårnålar görs. Detta då källarväggarna inte behöver infästningar på samma sätt som ytterväggarna ovan mark.

$$U = R_{Tot}^{-1} = 5,693^{-1} = 0,176 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

4.2.1.7 Grundkonstruktioner

I modellen förenklas byggnadens grundkonstruktioner till tre olika konstruktioner. En för grundplattan under källarplan, en för grundplattan under hus A och B och en för grundplattan under atriet. Grundplattan under källarplan är ursparad och förstärkt från en ursprunglig tjocklek på 900 mm på flera platser. Hänsyn tas till dessa tjockleksvariationer genom att vikta tjockleken utifrån areamätning på de avvikande delarna av plattan vilket ger en viktad tjocklek på 911 mm. De två olika grundläggningstyperna under plan 1 har båda en betongtjocklek på 250 mm. Under atriet är isoleringstjockleken 220 mm till skillnad från övriga plattan där isoleringstjockleken är 300 mm. Konstruktionerna modelleras direkt i IDA ICE då programmet tar hänsyn till markens egenskaper. U-värdena som beräknas i IDA ICE presenteras i tabell 11.

Tabell 11. Presentation av grundkonstruktioner och respektive konstruktions U-värde som används i modellen.

Grundkonstruktion	Betongtjocklek [m]	Cellplasttjocklek [m]	U [W/(m ² K)]
Grundplatta under källarplan	0,911 (viktad)	0	1,471
Grundplatta under plan 1 (under hus A och B)	0,250	0,300	0,115
Grundplatta under atrium	0,250	0,220	0,156

4.2.1.8 Sammanställning U-värden

I tabell 12 sammanställs ovan beräknade U-värde för de olika byggdelen och byggnadens U-medelvärde beräknas till 0,41 W/(m²K).

Tabell 12. Sammanställning av de olika byggdelenas U-värden och hur stor andel de utgör av de totala transmissionsförlusterna.

Byggdelen	Area [m ²]	U-värde [W/(m ² K)]	U·A [W/K]	Andel av totala transmissionsförluster [%]
Takkonstruktion över plan 5	544	0,164	89	2,0
Takkonstruktion över plan 6	2038	0,110	225	5,0
Yttervägg	2898	0,154	452	10,1
Fönster	2420	0,9	2178	48,5
Dörrar	62	1,5	93	2,1
Mellanbjälklag under konsol	134	0,135	18	0,4
Källarvägg	294	0,176	44	1,0
Grundplatta under källarplan	394	1,471	101	2,2
Grundplatta under plan 1	1770	0,115	149	3,3
Grundplatta under atrium	474	0,156	49	1,1
Köldbryggor	-	-	1095	24,4
Totalt	11 028	0,41	4493	100

4.2.2 Köldbryggor och lufttätethet

I denna fallstudie beräknas inga exakta värden för respektive typ av köldbrygga i projektet. I stället görs ett schablonmässigt procentuellt påslag på byggnadens transmissionsförluster som representerar värmeförlusterna genom köldbryggorna. Ett SBUF-projekt från 2015 redovisar 24 % av transmissionsförlusterna för en byggnad med sandwichväggar (Larsson & Berggren, 2015) och detta används vid modellering av Epic. Köldbryggorna modelleras som totalt invändiga med ett värde på 0,105 W/K (m² klimatskal).

Vid lufttäthetsmätning av den färdiga byggnaden Epic redovisas ett luftläckage på 0,22 l/(s·m²) vid en tryckskillnad på ±50 Pa. Dessa värden används vid modellering som ett mått på byggnadens lufttäthet och infiltrationen modelleras som vinddriven.

4.2.3 Byggnadskroppar och zonindelning

Epic byggs upp i IDA ICE från dwg-filer genom att byggnadskroppar motsvarande byggnadens klimatskal modelleras upp. Byggnadskroppen utgör gränsen mellan inomhus och utomhus i IDA ICE och det är innanför denna avgränsning som modellen beräknas. Hus A, hus B och atrium ryms alla inom samma byggnadskroppar. På grund av byggnadens geometriska utformning modelleras fyra byggnadskroppar, en för plan 1, en för plan 2, en för plan 3, 4 och 5 samt en för plan 6. Byggnadskropparna avgränsas till insida yttervägg och från innergolv till insida tak. Byggnadskroppen för plan 3,4 och 5 avgränsas från innergolv plan 3 till insida tak plan 5.

Varje plan delas in i zoner som går från innergolv till innertak och där varje zon simuleras med hänsyn till respektive indata. Då plan 4 liknar plan 3 i dess byggnadsutformning och i dess hyresgäst Anpassning dupliceras plan 3 för att minska antalet uppbyggda zoner. Zonerna delas in enligt följande punkter:

- Zonerna delas upp utifrån konstanta och varierande tilluftsflöden baserat på ventilationsritningarnas relationshandlingar.
- Alla mötesrum och kontorsrum med varierande ventilationsflöden simuleras som egna zoner eftersom deras energianvändning styrs av internbelastning.
- Alla öppna kontorslandskap delas upp efter väderstreck för att få solinstrålningen rättvist fördelad.
- Mängden noder i zonernas geometriska form begränsas för att minska beräkningarnas komplexitet. De uppdelningar som görs av öppna kontorsytor görs med så enkel geometri som möjligt.
- Schakt för installationer modelleras som egna zoner och går genom hela husen.
- Atriet modelleras som totalt en zon, där hisschaktet är inkluderat.

Antalet zoner som modelleras för respektive våningsplan presenteras i tabell 13.

Tabell 13. Antalet zoner för respektive våningsplan i beräkningsmodellen.

Våningsplan	Antal zoner [st]
Plan 0	5
Plan 1	32
Plan 2	37
Plan 3	32
Plan 4	32 (duplicerade från plan 3)
Plan 5	31
Plan 6	26
Schakt och atrium	9
Totalt	204

4.2.4 Ventilation, läckor och vädringsluckor i atriet

Tilluftsflöden och frånluftsflöden till respektive zon modelleras efter ventilationsritningarnas relationshandlingar. Tilluftsflödet styr om zonen modelleras som variabla eller konstanta luftflöden beroende på relationshandlingarna. För att inte blanda variabla och konstanta luftflöden inom en zon placeras frånluften i WC-områdena i de fall ventilationsritningarna anger variabel frånluft och konstant tilluft eller tvärtom. WC-områdena har endast frånluft och därför anses det rimligt att flytta frånluften till dessa zoner. Varje våningsplan i de båda husen modelleras med balanserat flöde, i de fall det inte blir så enligt ritningar anpassas frånluften i WC-områdena för att uppnå balans. Hela byggnadskroppen har ett balanserat flöde i minsta och maximala flöden och har anpassats något i dess frånluftflöde för att uppnå balans. Ventilationens fläktar går på tidschema som modelleras som full kapacitet under måndagar klockan 5–18 och övriga vardagar klockan 6–18. Övrig tid är ventilationen i huvudsak avstängd, där övrig tid innebär vardagarnas övriga timmar, helger samt lediga dagar enligt de svenska högtiderna. Som nämnts tidigare är Epic även utrustad med utökad dagdrift vilken modelleras med givna gränsvärden för temperaturer inomhus och utomhus i Skanskas aggregat i IDA ICE.

I beräkningsmodellen ska ventilationsflödet till respektive rum med variabelt flöde forcera luft enligt det modellerade ventilationsschemat som gäller under vardagar när rumstemperaturen överskrider 22 °C eller när koldioxidhalten överskrider 600 ppm. Den maximala tillåtna rumstemperaturen är projekterad och modellerat till 23 °C och den maximala tillåtna koldioxidhalten är 800 ppm. För att inte riskera att överskriva detta är gränsvärdena för forcering lägre än de maximala värdena.

För att modellen ska ta hänsyn till det luftutbyte som sker mellan zonerna och för att få en omblandning som motsvarar verklighetens placeras läckor mellan zoner. Läckorna placeras i storlek av två kvadratmeter i ovankant och i underkant i zonangränsningar där det finns överluftsdon, öppningar eller innerdörrar. Det placeras inga läckor från zonerna i hus A och B till atriet, då respektive hus samt atrium är modellerat med balanserat flöde. Zonerna för schakt har inga läckor.

I de stora glaspartierna i atriet mot väst och öst finns två sektioner med mindre fönsterluckor mot de båda väderstrecken. Fönsterluckorna är placerade i golvnivå på plan 2 och plan 6 med en höjd på knappt en meter och används som vädringsluckor. Fönsterluckorna modelleras till att öppnas när medellufttemperaturen i atriets zon överstiger 24 °C.

4.2.5 Internlast

Verksamhets- och fastighetsbelysning modelleras som 3 W/m² i samtliga zoner förutom i schakten. Den dimensionerande personlasten modelleras med en värmeavgivning på 1 MET/person och antalet personer i zonerna anpassas efter A-ritningarnas och ventilationsritningarnas relationshandlingar.

Utrustningen modelleras som 33 W/laptop och där varje person i ett mötesrum antas ha varsin laptop. I varje mötesrum finns också en projektor på 100 W. I de öppna kontorsytorna och i de mindre samlingsrummen antas det finnas fasta kontorsplatser med utrustning motsvarande 100 W/arbetsplats. Utrustningen i samlings- och loungezonerna med pentry samt i köksberedningszonerna intill restaurangen anses motsvara 3 W/m². I café och restaurangen på plan 1 anses hälften av antalet personer sitta med en laptop som motsvarar en utrustning på 33 W/laptop.

Internlasterna modelleras med schema efter hur de antas belasta byggnaden, se tabell 14. Semesterdagarna sträcker sig över datumen 13 juli till 9 augusti och 24 december till 2 januari, då majoriteten på ett kontor antas ha semester. Övrig tid innebär vardagarnas övriga timmar, helger samt lediga dagar enligt de svenska högtiderna.

Tabell 14. Tabell över hur internlasternas tidscheman modelleras. Procentsatsen beskriver hur stor del av den totala dimensionerande interlasten som belastar byggnaden under respektive tidskategori.

Internlaster	Zoner	Vardagar	Vardagar under semesterdagar	Övrig tid
Belysning, utrustning	Kontor och möte	70 % kl. 8–17	15 %	15 %
	Samling och lounge	70 % kl. 8–17	15 %	15 %
	Atrium, café och köksberedning	70 % kl. 8–17	70 % kl. 8–17	15 %
Person	Kontor och möte	70 % kl. 8–12, 13–17	0 %	0 %
	Samling och lounge	70 % kl. 12–13	0%	0%
	Atrium, café och köksberedning	70 % kl. 8–17	70 % kl. 8–17	0 %

Belysningen och utrustningen modelleras på två olika energimätare, fastighetsel och verksamhetsel. Belysning och utrustning i cykelrum, fläktrum, källare, miljörum, trapphus och atrium modelleras som fastighetsel. Resterande belysning och utrustning modelleras till verksamhetselvärdet.

4.2.6 Styrning av byggnadens system

Byggnadens värme- och kylsystem samt luftbehandlingsaggregat modelleras enligt Epics relationshandlingar och med hjälp av Skanskas befintliga komponenter i IDA ICE. I den verkliga byggnaden finns två aggregat, ett för respektive hus, men dessa modelleras som ett aggregat i IDA ICE enligt vald energiberäkningsmetod. Börvärdena för byggnadens rumstemperaturer redovisas i tabell 15 och är hämtade från projektets systembeskrivningar.

Tabell 15. Börvärden för rumstemperaturer som styr värme- och kylsystem. Där DVUT är dimensionerad vinterutetemperatur och DUT är dimensionerad utetemperatur.

	Vinter (DVUT -16 °C)	Sommar (DUT +27 °C vid 50 % RH)
Rumstemperatur:		
Kontor, lokal, café och atrium	22 °C	23 °C
Driftcentral och städ	20 °C	-
Källare	15 °C	-
Fläktrum	10 °C	-

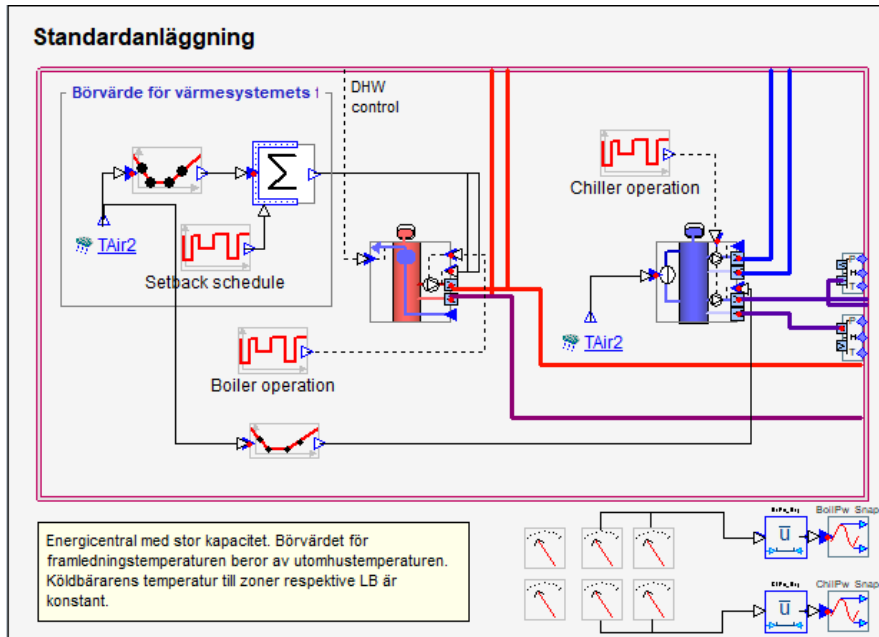
4.2.7 Värme- och kylsystem

När alla zoner, internlastar och rumstemperaturer har modellerats görs en dimensionerande värmesimulering med avstängda fläktar där erforderlig värmeeffekt för respektive zon beräknas. Genom att köra ett skript i modellen byts därefter alla ideala värmare ut mot vattenradiatorer med effekt enligt värmesimuleringen. Samtliga vattenradiatorer modelleras med proportionell regulator. Varje zon som enligt ventilationsritningarna har kylbafflar förses med aktiva bafflar i modellen. Från ventilationsprojektörerna fås indata för respektive kylbaffel enligt tabell 16 vilka används i modellen.

Tabell 16. Uppgifter från projektets ventilationsprojektörer gällande de kylbafflar som finns i Epic.

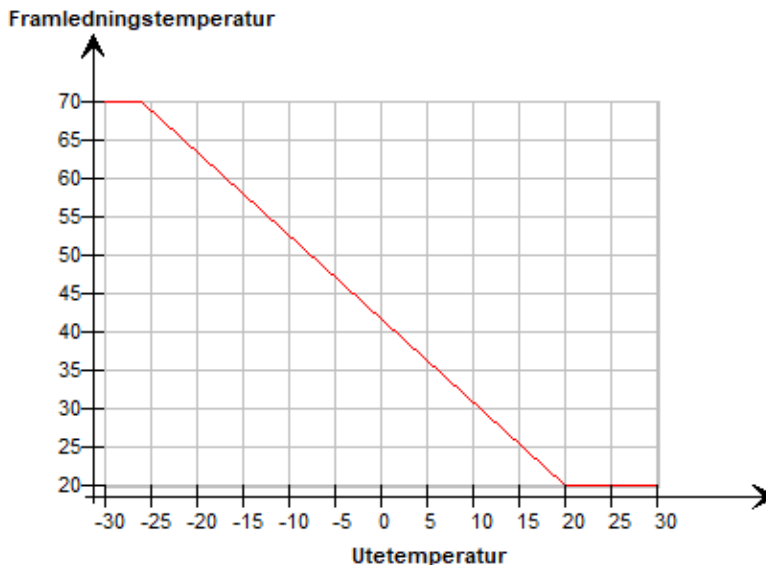
Baffel	Batterieffekt [W]	Luftflöde [l/s]	dT (coolant-zone air) [°C]	dT (coolant) [°C]
WEGA II	411	23	3,27	3
WEGA II Forcerad	508	52	2,75	3,7
STAR LYRA 060	247	23	4,37	1,2
STAR LYRA 120	305	23	3,79	2,2
STAR LYRA 120 Forcerad	397	52	3,34	2,9
STAR NOVA II Forcerad	559	52	3,48	2,7

Modellens primärsystem, det vill säga värme- och kylsystem, modelleras utifrån en standardanläggning som fås från Skanska och ett skärmsklipp av denna visas i figur 16. Schemat för "Boiler", det vill säga uppvärmning, sätts till att värmen stängs av under perioden 1/6–30/9 för att undvika att byggnaden får ett kyl- och värmebehov samtidigt.



Figur 16. Skärmbild från modellens primärsystem i IDA ICE.

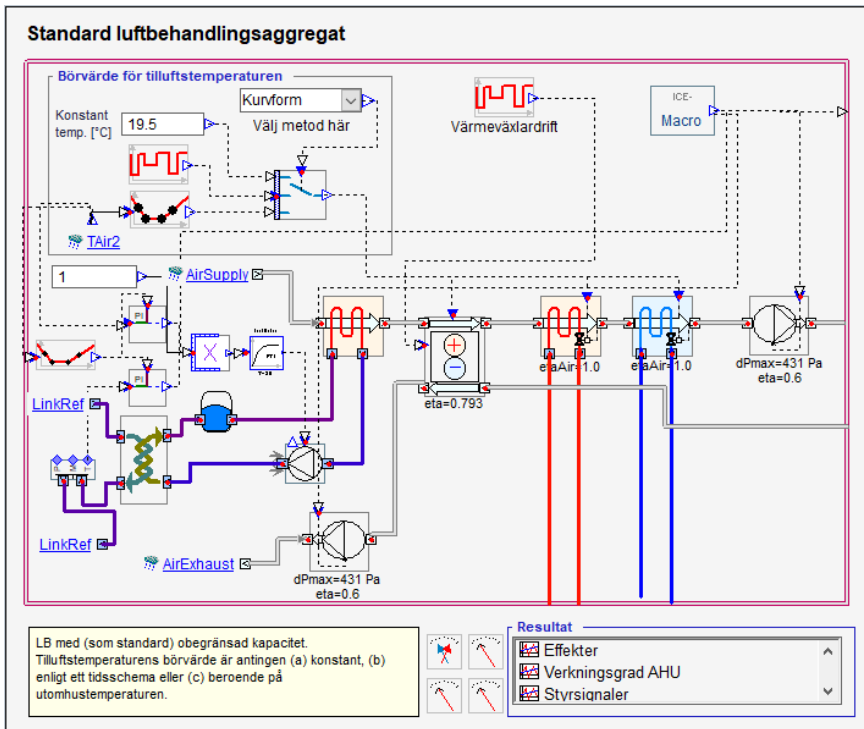
Radiatorernas framledningstemperatur modelleras enligt kurvan i figur 17.



Figur 17. Radiatorernas framledningstemperatur i modellen.

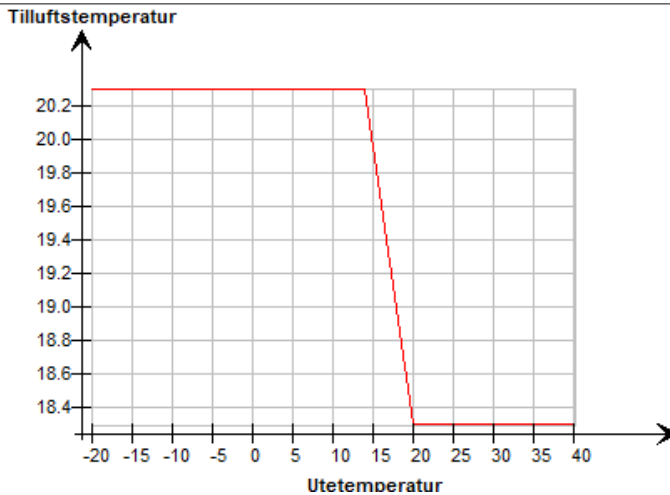
4.2.7.1 Luftbehandlingsaggregat

Luftbehandlingsaggregatet modelleras enligt figur 18 med till- och frånluftsfläkt, värmeväxlare, eftervärmning och efterkylning. Fläktarnas SFP-tal anges i relationshandlingarna till totalt $1,27 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Värdet anges i IDA ICE som halva SFP-talet för frånluftsfläkten och halva för tilluftsfläkten. För båda fläktarna ökas tryckhöjningen med 50 Pa för att kompensera för nedsmutsning av filter. SFP-talet anges som beroende av ventilationsflödet enligt tillgänglig ASHRAE-standard i IDA ICE. Värmeväxlaren är av typen vätskekopplad lamellvärmeväxlare och verkningsgraden anges i aggregatskörningen från ventilationsprojektören till $79,3 \%$. I IDA ICE anges den torra verkningsgraden som maximal energiverkningsgrad och programmet beräknar därefter vid simulering den våta temperaturverkningsgraden (Flawn Orpana, 2015).



Figur 18. Skärmbild från modellens luftbehandlingsaggregat i IDA ICE.

Tilluftstemperaturen styrs enligt temperaturkurvan i figur 19 och som visas i figuren varierar den med utomhustemperaturen. Vid utomhustemperaturer under 14 °C är tilluftstemperaturen $20,3 \text{ °C}$ och vid utomhustemperaturer över 20 °C är tilluftstemperaturen $18,3 \text{ °C}$. Tilluftstemperaturen i denna styrning anger temperaturen innan fläkten och tar alltså inte hänsyn till den temperaturhöjning som sker när luften passerar tilluftsfläkten.



Figur 19. Kurvan som anger börvärde för tilluftstemperaturen som funktion av utomhus-temperaturen i modellens luftbehandlingsaggregat i IDA ICE.

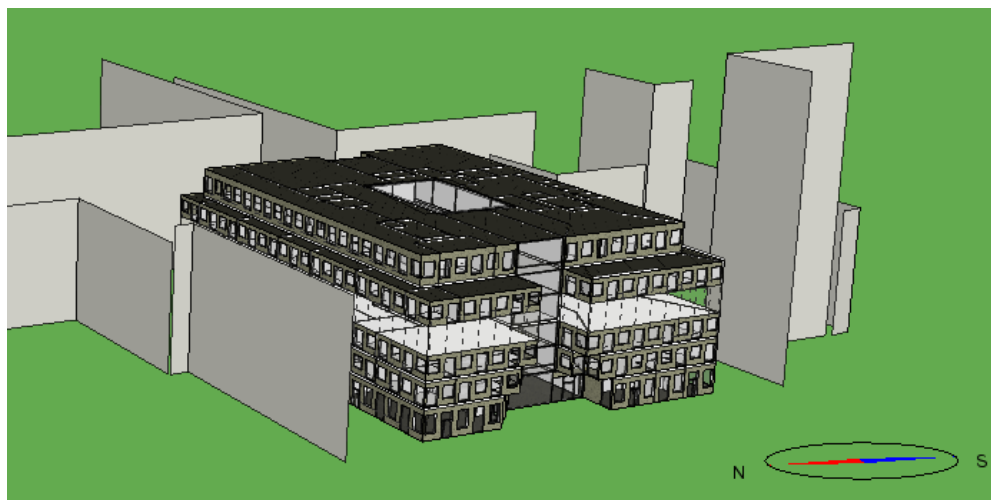
Frikylan modelleras med parametrar för kretsens batteri, cirkulationspump och växlare enligt uppgifter i tillgängliga relationshandlingar och enligt luftbehandlingsaggregat framtaget av Skanska för denna fallstudie i IDA ICE.

4.2.8 Klimatfil

Byggnaden modelleras med en väderfil som fås från Sveby som en klimatdatafil för år 2021 för Malmö. Klimatdata filen bearbetas i MATLAB för att passa i modellen. Insamlingspunkten för Malmös klimatdata fås från en mätare på 7 meters höjd över havet placerad på koordinaterna 55.5925, 13.0246. Klimatfilen säger inget om mikroklimatet runt Epic som har koordinaterna 55.6007, 12.9945. Genom att modellen modelleras med klimatdatafil för det aktuella året som studeras görs ingen normalisering av klimatfilens värden. Klimatdatafilen från Sveby innehåller insamlade mätdata för varje timme under hela året. Mätdata som finns tillgängliga är vindriktning, vindhastighet, lufttemperatur, relativ fuktighet, molnighet, global horisontell strålning, direkt normalstrålning och diffus strålning på en horisontell yta (Sveby, 2022).

4.2.9 Omgivande bebyggelse

Omgivande bebyggelse modelleras i IDA ICE som vertikala solskydd. De omgivande byggnadernas höjder anges som de högst tillåtna i de detaljplanerna som reglerar respektive kvarter runt Epic, se bilaga. Figur 20 visar hur de vertikala solskydden ser ut i modellens 3D-vy.



Figur 20. Skärmbild från IDA ICE-modellen som visar de vertikala solskydden som ska representera omgivande bebyggelse.

4.3 Sammanställning av värden

Kontorsbyggnaden Epics uppmätta värden för olika parametrar samlas in under byggnadens drifttid av Skanska och sparas för respektive mätare. De beräknade och de uppmätta värdena exporteras till Excel där data rensas och hanteras beroende på analys. Värdena tilldelas datum, klockslag och veckodag för att i Excel kunna använda sorterings- och filtreringsfunktioner. På detta sätt kan aktuella perioder och tidsintervall väljas ut för respektive dataserie. Vilka beräknade och uppmätta värden som finns tillgängliga och vilka värden som inkluderas i de olika resultaten sammanställs i tabell 17. Den mätdata som främst saknas för att göra fler analyser är ventilationsflöde, radiator-effekt eller kylbaffleffekt för separata rum eller områden på byggnadens olika plan. Det finns inte heller temperatur- eller koldioxidmätare i samma utsträckning i de områdena i kontorsbyggnaden som förses med konstanta ventilationsflöden varför endast rum med variabla flöden studeras närmare.

Energi användning i kontor

Tabell 17. Förklarande tabell över vilka värden som finns tillgängliga samt vilka som är inkluderade i denna rapportens resultat. Hela timvärden innebär att alla femminutersvärden som inte infaller kl. XX:00 bortses från.

Parameter	Enhet	Nivå på tillgängliga uppmätta värden	Tidsintervall för tillgängliga uppmätta värden	Tidsintervall för tillgängliga beräknade värden	Inkluderade värden i resultat och jämförelse
Uppvärmning och komfortkyla	kWh	Byggnad	1 månad	1 timme	Månadsvärden jan till dec
Ventilation	l/s	Aggregat	Feb: 1 timme Mar-dec: 5 minuter	1 timme	Alla tillgängliga värden under ventilationens drifttid
Verkningsgrad värmeväxlare	%	Aggregat	Feb: 1 timme Mar-dec: 5 minuter	1 timme	Alla tillgängliga värden under ventilationens drifttid
SFP-tal	kW/(m ³ /s)	Aggregat	Feb: 1 timme Mar-dec: 5 minuter	1 timme	Alla tillgängliga värden under ventilationens drifttid
Inomhusklimat, enskilda rum	°C ppm CO ₂	Rum med VAV-system	Feb: 1 timme Mar-dec: 5 minuter	1 timme	Hela timvärden vardagar klockan 7–17
Närvaroschema, enskilda rum	°C ppm CO ₂	Rum med VAV-system	Feb: 1 timme Mar-dec: 5 minuter	1 timme	Alla tillgängliga värden 2 & 3 mars 31 aug & 1 sep
Rumstemperaturer, enskilda rum	°C	Rum med VAV-system	Feb: 1 timme Mar-dec: 5 minuter	1 timme	Hela timvärden
Inomhustemperatur, radiator- och kylbaffeffekt	°C kW	Byggnad	Feb: 1 timme Mar-dec: 5 minuter	1 timme	Alla tillgängliga värden 1 – 5 mars 10–14 maj 30 aug – 3 sep 6 – 10 dec
Verksamhetsel	kWh	Byggnad	1 månad	1 timme	Månadsvärden jan till dec
Tappvarmvatten	kWh	Byggnad	1 timme	1 timme	Timvärden jan till dec
Klimatfil	°C	Byggnad	Feb: 1 timme Mar-dec: 5 minuter	1 timme	Hela timvärden

För flertalet parametrar saknas mätdata från januari varför en jämförelse under denna månad inte är möjlig i alla analyser. I de fall då de uppmätta värden som inte infaller på kl. XX:00 sorteras bort förloras eventuella uppmätta variationer under timmarna. Ett

alternativ till denna metod kan vara att beräkna medelvärde för respektive timme, något som inte gjorts i denna fallstudie.

4.3.1 Uppvärmning och komfortkyla

De beräknade totala värdena för energianvändning för uppvärmning tas fram genom att addera de simulerade värdena för rumsvärmning, det vill säga uppvärmning via radiatorer, samt värmning i luftbehandlingsaggregatet. De beräknade totala värdena för energianvändning för komfortkyla tas fram genom att addera de simulerade värdena för rumskylning, det vill säga kylning via kylbafflar, samt kylning i luftbehandlingsaggregatet. Värdena för både uppvärmning och komfortkyla kan fås som månadssummeringar i IDA ICE. Den uppmätta totala energianvändningen för uppvärmning beräknas genom att subtrahera uppmätt energianvändning för uppvärmning av varmvatten och uppskattade VVC-förluster från total fjärrvärmeförsel till byggnaden. VVC-förlusterna uppskattas genom att mäta fjärrvärmeeffektillförseln till 3,26 kW under en sommarnatt och anta att den i sin helhet representeras av VVC-förluster. Detta anses vara ett rimligt antagande då varken tappvarmvattenanvändning eller uppvärmning förekommer under sommarnätter. Denna uppskattning har tidigare gjorts vid Skanskas energiuppföljningar av byggnaden och används således också i denna studie utan vidare analys. Den uppmätta totala energianvändningen för komfortkyla beräknas genom att subtrahera uppmätt processkylaanvändning från total fjärrkylatillförsel till byggnaden.

4.3.2 Ventilation

Ventilationsflödena mäts endast som totalflöden för respektive hus i Epic. Eftersom de två aggregaten modelleras som ett aggregat vid simulering i IDA ICE hanteras totalflödet för hus A och B summerade även för tillgängliga uppmätta värden. Endast mätvärden från tidpunkter inom ventilationens drifttid inkluderas och övriga mätvärden bortses från. För att tydligare visa hur totalflödet varierar över året studeras fyra olika tvådagarsperioder spridda över året. De uppmätta flödena jämförs mot de beräknade. En jämförelse görs också för att undersöka huruvida ventilationen är balanserad vilket relationshandlingarna anger att den ska vara. Jämförelsen görs genom att subtrahera tilluftsflödet från frånluftsflödet. Beräkningen görs för både de uppmätta och de beräknade flödena. Utöver det jämförs uppmätt och beräknad tilluftstemperatur. Tilluftstemperaturen för både de beräknade och uppmätta värdena definieras som den temperatur luften har efter att den passerat fläkt, växlare, eftervärmning och efterkylning i luftbehandlingsaggregaten.

4.3.3 Verkningsgrad värmeväxlare

Modellen i IDA ICE genererar inte en simuleringsrapport för värmeväxlarens verkningsgrad. I stället tas den beräknade verkningsgraden fram med timvärden för de temperaturer som beräknas i modellen. Eftersom Epic är utrustad med ett frikylasystem är temperaturen för luften som når värmeväxlaren inte densamma som utomhus-temperaturen, då denna luft blivit förvärmad av frikylasystemet. För beräkning av verkningsgrad används förvärmad temperatur, tilluftstemperatur efter värmeväxlare och frånluftstemperatur och beräkningen görs enligt ekvation 6.

$$\eta_{vwx} = \frac{T_{\text{efter vvx}} - T_{\text{förvärmad}}}{T_{\text{frånluft}} - T_{\text{förvärmad}}} \quad (6)$$

Vid hantering av uppmätta värden för verkningsgraden för värmeväxlarna separeras hus A och B och alla värden som ligger utanför aggregatens schemalagda drifttid sorteras bort. Den uppmätta verkningsgraden mäts för tilluften. Eftersom verkningsgraden beror på utomhustemperaturen används även de lokalt uppmätta utomhustemperaturerna vid vidare analys. För att ytterligare undersöka hur de två värmeväxlarna reagerar på utomhustemperaturen studeras en vecka under våren med stora variationer i utomhustemperatur. De uppmätta värdena jämförs med beräknade värden från simuleringen. En av dessa jämförelser görs genom att storlekssortera de beräknade och uppmätta verkningsgraderna. När detta görs sorteras värden som uppmäts vid utomhustemperaturer över 15 °C bort. Utöver utomhustemperaturen spelar skillnader i till- och frånluftsflödet roll för värmeväxlarens verkningsgrad, dock görs inga analyser där denna obalans inkluderas i denna fallstudie.

4.3.4 SFP-tal

Vid beräkning av SFP-talet används timvärden för simulerad fläkteffekt och simulerat totalt frånluftsflöde som ges i simuleringsrapporten i IDA ICE. Eftersom det inte finns någon mätare på Epic som specifikt loggar SFP-talet beräknas detta via andra mätvärden. De uppmätta effekterna för de två tilluftsfläktarna och frånluftsfläktarna i respektive aggregat adderas och divideras därefter med det totala frånluftsflödet i respektive aggregat. Exempel på beräkning visas i ekvation 7.

$$SFP_{hus A} = \frac{P_{frånluftsfläkt1A} + P_{frånluftsfläkt2A} + P_{tilluftsfläkt1A} + P_{tilluftsfläkt2A}}{q_{tot, frånluft, A}} \quad (7)$$

Endast mätvärden under ventilationens schemalagda drifttid inkluderas. SFP-talet jämförs därefter med beräknat värde utifrån den simulerade modellen. SFP-talet i modellen beror på ventilationsflödet enligt tillgänglig ASHRAE-standard och beräknas genom att dividera beräknad total fläkteffekt med beräknat totalt frånluftsflöde enligt ekvation 8.

$$SFP = \frac{P_{tot, fläkt}}{q_{tot, frånluft}} \quad (8)$$

4.3.5 Inomhusklimat, enskilda rum

Av drygt 60 enskilda mötesrum och kontorsrum med VAV-system väljs fyra rum, som vidare benämns mötesrum A6, B4, B6 och kontorsrum A8, för att studera rummets inomhusklimat. I respektive rum mäts i den verkliga byggnaden rumstemperatur, koldioxidhalt och ventilationssystemens spjällmotorer. Dessa rum väljs då samtliga fyra rum är placerade på olika ställen i byggnaden och skiljer i andel ytor mot uteklimatet, rumsstorlek samt användning, se tabell 18.

Tabell 18. Förtydligande tabell över tillgänglig information för de fyra enskilda rummen. Där rummen benämns efter dess användning, vilken byggnad samt för hur många personer rummet är dimensionerat för.

Rum	Mötesrum A6	Kontorsrum A8	Mötesrum B4	Mötesrum B6
Användning	Mötesrum	Kontorsrum	Mötesrum	Mötesrum
Dimensionerat antal personer	6	8	4	6
Våningsplan	3	5	3	6
Golvarea (m ²)	17	24	10	16
Antal väggar mot uteklimat	0	2	0	1
Tak mot uteklimat	Nej	Ja	Nej	Ja
Ventilationssystem	VAV	VAV	VAV	VAV
Dimensionerat maximalt tillufts- och frånluftsflöde (l/s,m ²)	Tilluft: 6,1 Frånluft: 0	Tilluft: 6,6 Frånluft: 0	Tilluft: 5,4 Frånluft: 0	Tilluft: 6,5 Frånluft: 3,6
Antal fönster, riktning	0	2, väst, 2, norr	1, atriet	2, syd
Solavskärmning	Nej	Nej	Nej	Ja, invändig gardin

Gränsvärdet för forcering av luftflödena till mötesrum A6, B4, B6 och kontorsrum A8 studeras för hela timklockslag under vardagar klockan 7–17 där de beräknade och de uppmätta värdena storleksordnas. På så vis tas samtliga timmar med som personer antas vara i byggnaden och när ventilationen regleras efter det modellerade ventilations-schemat.

4.3.6 Närvaroschema, enskilda rum

Det modellerade personnärvaroschemat utvärderas genom att jämföra det mot de beräknade respektive uppmätta rumstemperaturerna och koldioxidhalterna för tidigare beskrivna enskilda mötesrum A6, B4, B6 och kontorsrum A8.

4.3.7 Rumstemperaturer, enskilda rum

De fyra enskilda rummens rumstemperaturer studeras under dag och natt för vintermånader och sommarmånader. Endast hela timklockslag (XX:00) studeras under vardagarna. Dagtid innefattar de timmar som ventilationsfläkten är aktiv enligt det modellerade och projekterade ventilationsfläktschemat, med hänsyn till sommartid och vintertid. Värden med utökad dagdrift för ventilationssystemet tas inte i beaktning vid sortering. Vintermånader gäller från oktober till och med maj och sommarmånader juni till och med september, där radiatorerna inte är i gång under sommarmånaderna. Sommartid är från den 28 mars till och med den 31 oktober under året 2021. Se tabell 19 för indelning av värdena med hänsyn till årets tider.

Tabell 19. Tabell över indelning av dag och natttimmar beroende på sommartid och vintertid.

	måndag		tisdag, onsdag, torsdag, fredag	
	Sommartid	Vintertid	Sommartid	Vintertid
Dag	04:00-17:00	05:00-18:00	05:00-17:00	06:00-18:00
Natt	18:00-03:00	19:00-04:00	18:00-04:00	19:00-05:00

4.3.8 Inomhustemperatur, radiator- och kylbaffleffekt

Medelinomhustemperaturen studeras gentemot den totala radiator- och kylbaffleffekten för hus A och B för vardagsdygn under fyra veckor, 1–5 mars, 10–14 maj, 30 augusti–3 september och 6–10 december. Radiatorerna ger värme från 1 oktober till 31 maj och under sommarmånaderna är de helt avstängda. Kylbafflarna är aktiva året runt.

De beräknade värdenas medeltemperatur beräknas från de simulerade zonerna som är modellerade med personbelastning i hus A och B. De zoner som medeltemperaturen beräknas från är öppna kontorslandskap, samlings- och loungeområdena, entréer på kontorsvåningarna, mötesrum och kontorsrum. Från hus B fås 60 zoners temperaturer och från hus A 73, då hus A har fler enskilda kontorsrum. Total beräknad radiator- och kylbaffleffekt fås genom simulering av modellen.

De uppmätta värdenas medeltemperatur beräknas från temperaturerna i de mötesrum och enskilda kontorsrum som har egna rumstemperaturmätare att tillgå. Från hus B fås 45 rumstemperaturer och från hus A 59. Den totala radiator- och kylbaffleffekten tas fram genom att summera respektive hus uppmätta effekter.

4.3.9 Verksamhetsel

Beräknad energianvändning för verksamhetsel ges som timvärden i den simulerade modellen. De uppmätta värdena för verksamhetsel beräknas genom att subtrahera uppmätt fastighetsel från total eltillförsel. De uppmätta värdena för energianvändning för verksamhetsel ges som månadsvärden varför även de beräknade värdena summeras till månadsvärden vid jämförelse.

4.3.10 Tappvarmvatten

Vid presentation av resultatet storleksorteras timvärdena för vissa diagram och för vissa sorteras helgvärdena bort. De uppmätta värdena jämförs mot schablonvärdet $2 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ vilket är detsamma i både Sveby och BEN. Tappvarmvattenanvändningen modelleras i denna fallstudie inte i IDA ICE varför jämförelse mot schablonvärden görs. Energianvändningen som analyseras är exklusive VVC-förluster.

4.3.11 Utomhusklimat

Den klimatdata som samlas in lokalt från givare utanpå kontorsbyggnaden presenteras som timvärden i februari och femminutersvärden övriga månader. Vid jämförelse mellan de uppmätta temperaturerna med de som används i klimatdatafilen från Sveby raderas alla femminutersvärden från de uppmätta värdena så att endast hela timvärden finns kvar.

Vid jämförelse av klimatdatafilen och de uppmätta temperaturerna jämförs endast utomhustemperaturer och inte relativ fuktighet.

5 Resultat och analys

I följande kapitel presenteras resultaten av simuleringen respektive insamlade mätdata från byggnaden. Vidare jämförs och analyseras resultatet av de beräknade och uppmätta värdena.

5.1 Uppvärmning och komfortkyla

Värdena för uppvärmning och kyla för kontorsbyggnaden Epic presenteras som månadsvärden och jämförs mot de beräknade värdena som simulering i IDA ICE ger. Både energianvändningen för uppvärmning och komfortkyla består främst av två poster, uppvärmning och kyla som sker direkt i vistelsezonerna via radiatorer och kylbafflar, samt uppvärmning och kyla som sker i luftbehandlingsaggregatet då uteluften är för kall respektive för varm jämfört med önskad tilluftstemperatur.

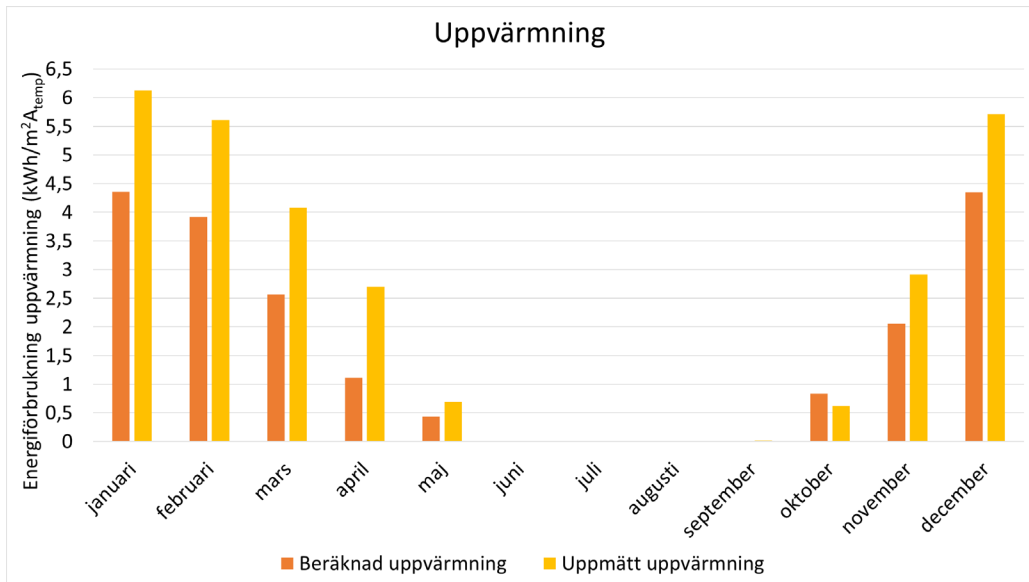
5.1.1 Beräknade och uppmätta värden

De beräknade och uppmätta värdena för total uppvärmning redovisas nedan. Den beräknade totala uppvärmningen ges genom summering av de två beräknade posterna ”rumsvärmning” och ”värmning via luftbehandlingsaggregat”. Resultatet visas i tabell 20.

Tabell 20. Beräknade månadsvärden för de poster som påverkar den totala energianvändningen för uppvärmning. Dessa jämförs mot den uppmätta totala energianvändningen för uppvärmning i kolumnen längst till höger.

	Beräknad rumsvärmning [kWh]	Beräknad värmning via LB-aggregat [kWh]	Beräknad total uppvärmning [kWh]	Uppmätt total uppvärmning [kWh]	Jämförelse mellan uppmätt total och beräknad total [%]
januari	55 138	5423	60 561	85 187	+40,7
februari	47 938	6569	54 507	78 008	+43,1
mars	33 033	2658	35 691	56 728	+58,9
april	15 043	419	15 462	37 543	+143
maj	5987	22	6009	9632	+60,3
juni	0	0	0	0	-
juli	0	0	0	0	-
augusti	0	0	0	0	-
september	15	0	15	255	-
oktober	11 601	23,4	11 624	8630	-25,8
november	27 443	1129	28 572	40 530	+41,9
december	55 194	5345	60 539	79 505	+31,3
Summering [kWh]	251 392	21 589	272 981	396 018	+45,1
Summering [kWh/m ² A _{temp}]	18,1	1,6	19,6	28,5	+45,1

Den totala beräknade uppvärmningen och den totala uppmätta uppvärmningen fördelas på uppvärmd area och visas tillsammans i figur 21. I figuren visas att den uppmätta energianvändningen för uppvärmning är större än den beräknade för alla månader utom oktober.



Figur 21. Total energianvändning för uppvärmning. Värdena inkluderar både uppvärmning genom radiatorer samt uppvärmning av tilluft i luftbehandlingsaggregat.

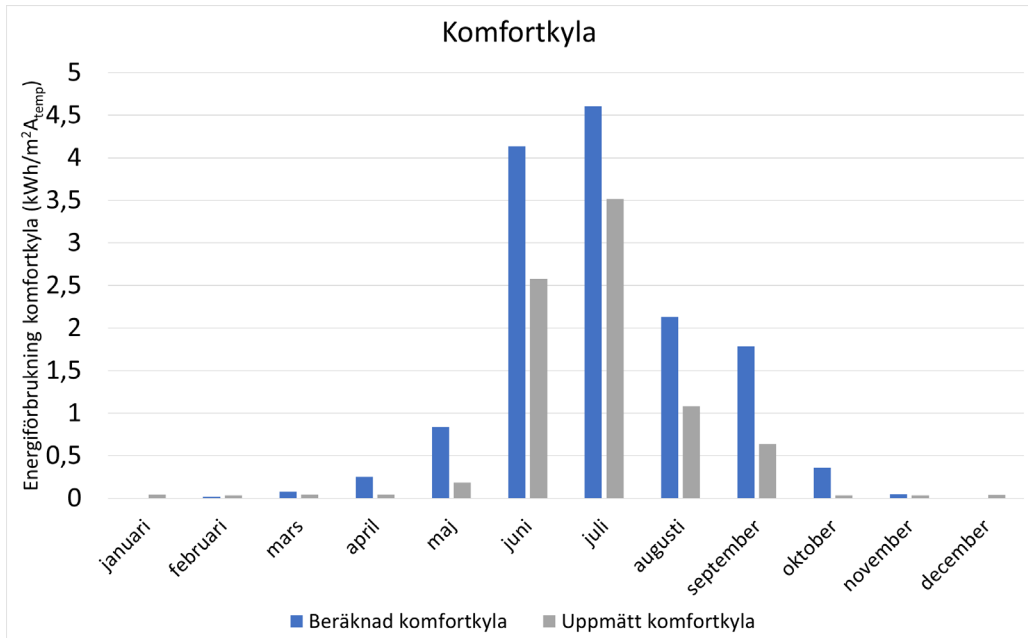
De beräknade och uppmätta värdena för total komfortkyla redovisas nedan. Den beräknade totala komfortkylan ges genom summering av de tre posterna ”beräknad rums- kylning” och ”beräknad kylning via luftbehandlingsaggregat”. Resultatet visas i tabell 21.

Energianvändning i kontor

Tabell 21. Beräknade månadsvärden för de poster som påverkar den totala energianvändningen för komfortkyla. Den totala beräknade energianvändningen fås genom att summera beräknad rumskylning och beräknad kylning via LB-aggregat. Den beräknade energianvändningen jämförs mot den uppmätta totala energianvändningen för komfortkyla i kolumnen längst till höger.

	Beräknad rumskylning	Beräknad kylning via LB-aggregat	Beräknad total komfortkyla	Uppmätt total komfortkyla	Jämförelse mellan uppmätt total och beräknad total [%]
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]
januari	33	0	33	567	-
februari	204	0	204	497	-
mars	1118	0	1118	568	-49,2
april	3532	0	3532	616	-82,6
maj	10 666	977	11 643	2594	-77,7
juni	36 172	21 380	57 552	35 814	-37,8
juli	28 756	35 274	64 030	48 909	-23,6
augusti	21 238	8430	29 668	15 018	-49,4
september	18 878	5960	24 838	8885	-64,2
oktober	4989	0	4989	482	-90,3
november	643	0	643	466	-27,5
december	31	0	31	506	-
Summering [kWh]	126 260	72 021	198 281	114 922	-42,0
Summering [kWh/m ² A _{temp}]	9,1	5,2	14,3	8,3	-42,0

Den totala beräknade komfortkylan och den totala uppmätta komfortkylan fördelas på uppvärmd area och visas tillsammans i figur 22. I figuren visas att den beräknade energianvändningen för komfortkyla är större än den uppmätta för alla månader.



Figur 22. Total energianvändningen för komfortkyla. Värdena inkluderar både energi för kylbafflar samt kylning av tilluft i luftbehandlingsaggregat.

5.1.2 Jämförelse och analys

Det är tydligt att de beräknade värdena är markant lägre än de uppmätta värdena när det gäller uppvärmning och markant högre när det gäller komfortkyla. Parametrarna som styr värdena för dessa två poster är många och vissa av dem kommer analyseras vidare och diskussioner kring hur de påverkar energianvändningen för uppvärmning och komfortkyla kommer föras. Om det antas att det generellt varit en lägre personbelastning under 2021 än normalt på grund av pandemirestriktioner kan det vara en del i förklaringen till att den uppmätta energianvändningen för uppvärmning är högre än den beräknade då mindre gratisvärme från internlast har kunnat tillgodoses i verkligheten jämfört med i modellen. Dock kan det vara värt att notera att skillnaden mellan uppmätt och beräknad energianvändning för uppvärmning är mindre under hösten när användningen av byggnaden kan antas ha varit något mer normal än under våren under vilken pandemirestriktioner rådde i större omfattning. På samma sätt kan den lägre personbelastningen förklara varför den uppmätta energianvändningen för komfortkyla är lägre än den beräknade då mindre överskottsvärme från internlast har behövts kylas bort i verkligheten jämfört med i modellen. Att totalposterna visar en stor avvikelse mellan beräknade och uppmätta värden kan förklaras med antalet poster i värmebalansen och svårigheterna att uppskatta dessa vid en beräkning. Värmebalansens olika poster redovisas i avsnitt 2.1. De olika posterna och dess indataparametrars osäkerheter kan påverka

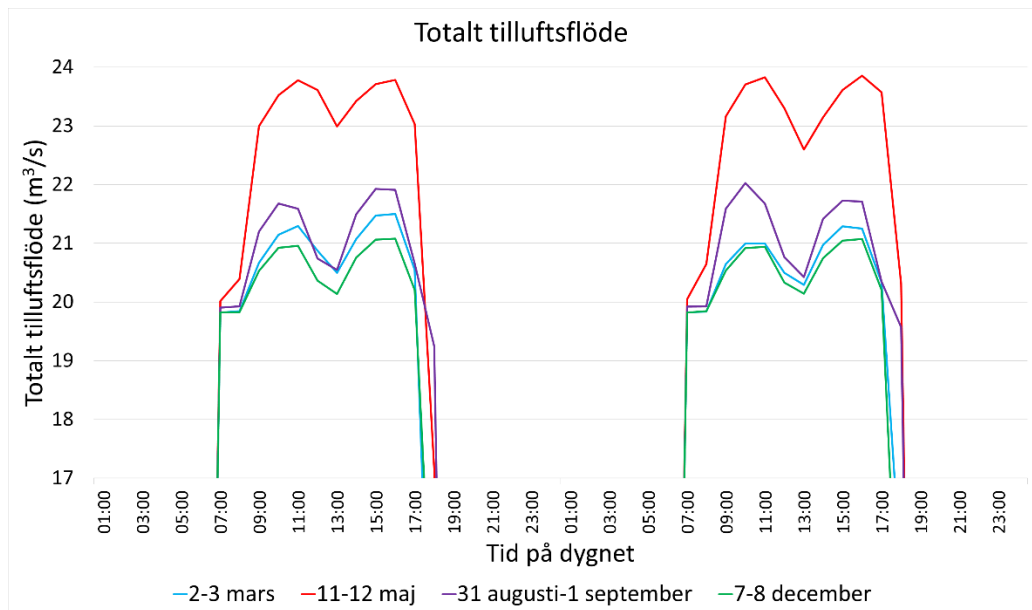
den beräknade energianvändningen åt olika håll, både genom att överskatta och underskatta användningen. Detta är något som tas upp i litteraturstudien i avsnitt 3.2.4 där resultatet visar på hur osäkerheter i indata kan påverka noggrannheten i en energiberäkning.

5.2 Ventilation

Nedan presenteras beräknade och uppmätta värden för byggnadens totala till- och frånluftslöde samt skillnaden mellan dessa. Ventilationen i Epic projekteras som balanserad och avses även modelleras som balanserad i IDA ICE. Huruvida flödena är balanserade i modellen samt i byggnaden undersöks nedan.

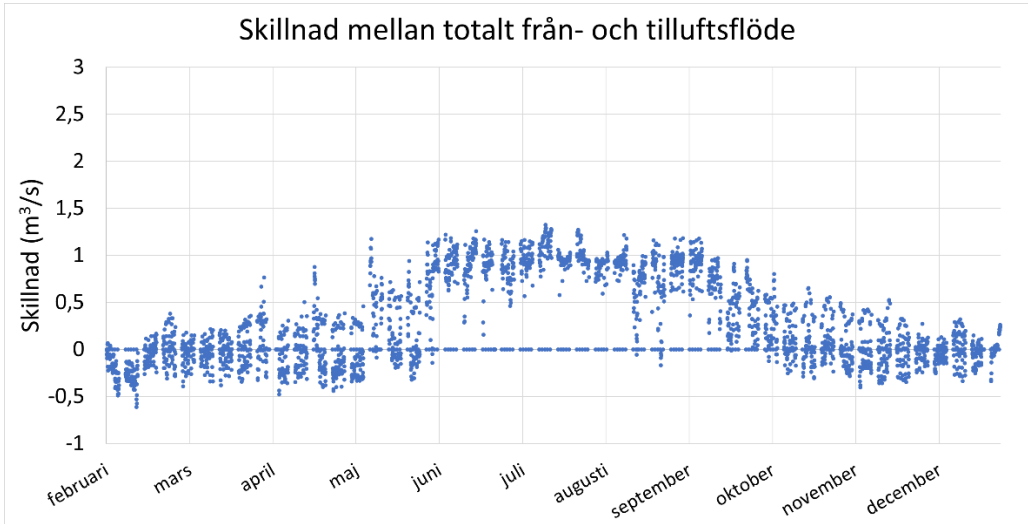
5.2.1 Beräknade värden

I figur 23 visas de beräknade totala tilluftslödena för fyra olika perioder under året.



Figur 23. Beräknade totala tilluftslöden för fyra tvådagarsperioder.

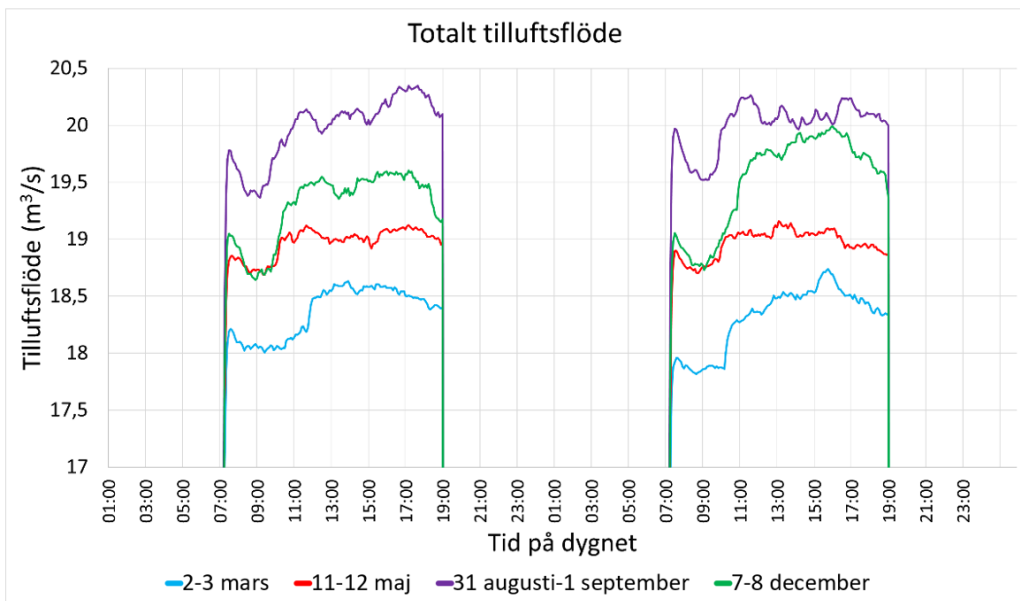
Skillnaden mellan totala från- och tilluftsflödena som beräknas i energisimuleringen visas i figur 24.



Figur 24. Skillnad mellan totalt från- och tilluftsflöde i den simulerade modellen.

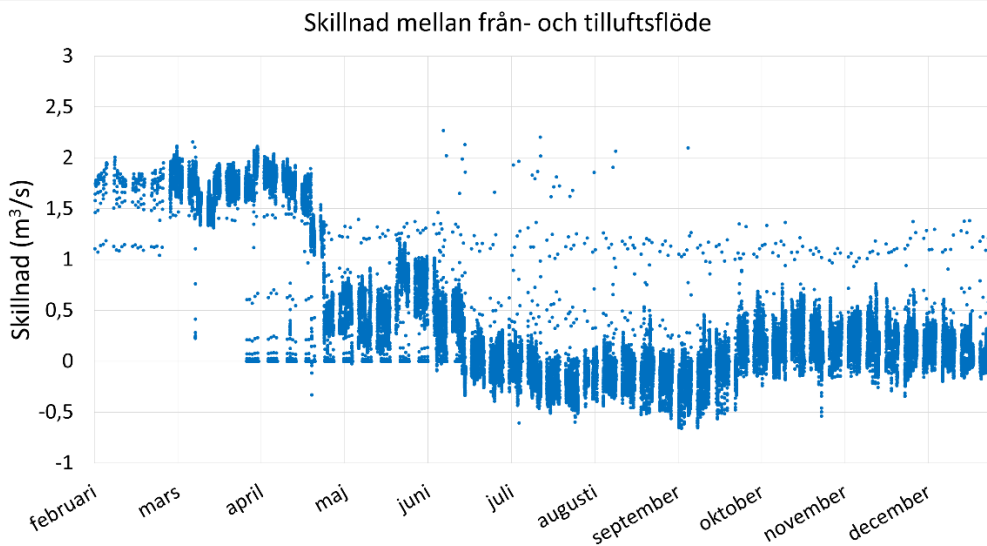
5.2.2 Uppmätta värden

I figur 25 visas de uppmätta totala tilluftsflödena för fyra olika perioder under året.



Figur 25. Uppmätta totala tilluftsflöden för fyra tvådagarsperioder.

Skillnaden mellan uppmätta totala från- och tilluftsflödena visas i figur 26.



Figur 26. Skillnad mellan uppmätt totalt från- och tilluftsflöde.

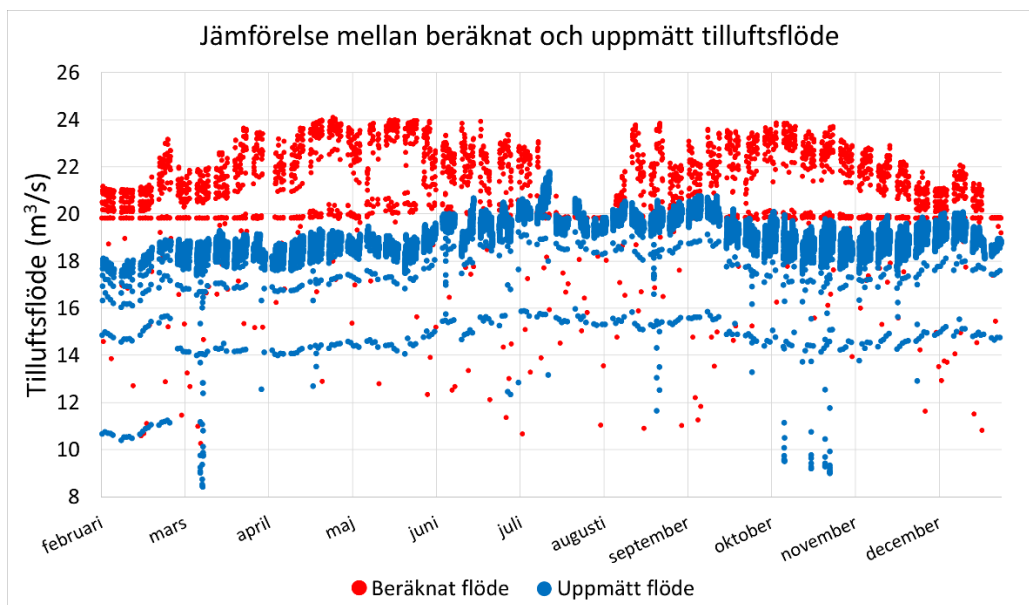
5.2.3 Jämförelse och analys

Som visas i figur 23 och figur 25 skiljer sig de beräknade och uppmätta luftflödena åt både vad gäller storlek, form på kurva samt i vilken storleksordning tvådagarsperioderna placerar sig. Ventilationen i byggnaden styrs på temperatur och koldioxidhalt vilket innebär att ventilationen till stor del styrs av personnärvaron då den påverkar både temperatur och koldioxidhalt. Det syns framför allt på de beräknade flödena som minskar tydligt under lunchtimmarna då personbelastningen förflyttas till de mindre samlingsutrymmena. Dessutom minskar personbelastningen totalt i byggnaden under lunchtimmarna. Eftersom personbelastningen i modellen är densamma för alla beräknade perioder i figur 23 sorteras flödenas storlek efter tid på året med störst flöde under perioden då störst ogynnsam solvärmelast kan antas. För de uppmätta värdena är det svårare att säga hur personnärvaron har sett ut. Det är dock värt att notera att graferna inte placerar sig efter periodernas tid på året. I figur 25 är det i stället sensommar- och höstperioden som visar högst flöde. Det kan förklaras genom att närvaron under hösten 2021 var högre än under våren då många antas ha arbetat hemifrån på grund av rådande pandemirestriktioner. Noterbart är även att totalflödena generellt är högre för alla perioder för de beräknade värdena än för de uppmätta.

När skillnaden mellan från- och tilluftsflöde betraktas går det att se en avvikelse i de beräknade värdena under sommaren, se figur 24. Detta kan förklaras genom att caféutrymmena på plan 1 modelleras med oförändrad personnärvaro under hela året samtidigt som ventilationsflödena i modellen inte är balanserade inom de enskilda cafézonerna. Det innebär att frånluftsflödet förblir detsamma i caféet under sommaren samtidigt som tilluftsflödena i de intilliggande zoner som förser även caféet med tilluft minskar sina flöden. Dessa intilliggande zoner har ett annat personschema med minskad

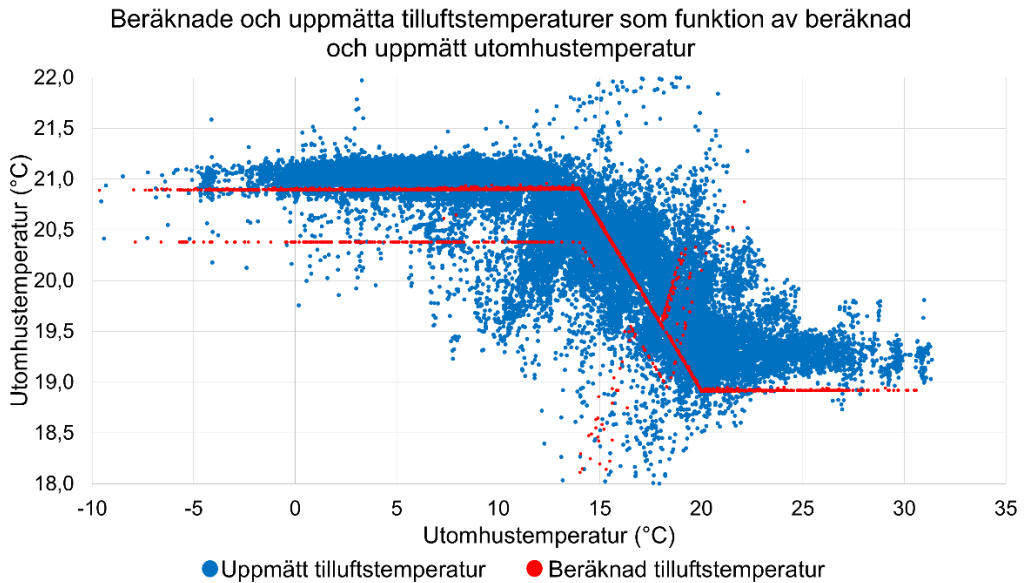
närvaro under sommarsemestern varför även flödena minskar. På så sätt blir det en obalans i modellens ventilation under sommarmånaderna som inte är avsedd. Generellt kan också sägas att undertryck bör eftersträvas i byggnaden för att inte riskera att fukt trycks ut i konstruktionen. Därför går det att anmärka på modelleringen av ventilationsflödena då de beräknade värdena visar på en negativ skillnad mellan totalt från- och tilluftsflöde förutom under sommarmånaderna. En negativ differens tyder på ett övertryck i modellen vilket inte är önskvärt. För de uppmätta värdena kan en avvikelse från balanserade flöden ses i figur 26 under första delen av året, då flödena visar sig vara obalanserade. Vad detta kan bero på är svårt att säga då ingen historik gällande driftinställningar finns att tillgå. Dock skulle avvikelsen kunna bero på att ventilationsystemet inte varit korrekt inställt och att detta i sådana fall åtgärdades under april 2021. Om mätningarna stämmer under första delen av året innebär det en stor energiförlust då den större obalansen gör att mer luft måste värmas upp. De uppmätta värdena visar på att skillnaden mellan från- och tilluftsflöde generellt är positiv under året, förutom under sommarmånaderna. En positiv differens betyder att byggnaden haft ett undertryck vilket som tidigare nämnts är att eftersträva ur fuktsäkerhetssynpunkt.

När de beräknade och uppmätta flödena jämförs i samma diagram i figur 27 går det att se att de beräknade flödena generellt är större än de uppmätta. Denna skillnad varierar mellan ungefär 2 och 3 m³/s. Dock verkar flödena stämma relativt bra överens med varandra under mitten av sommaren. Detta skulle kunna tyda på en överskattad personnärvaro i modellen under övriga året eftersom flödena stämmer bättre överens under en period då modellen och den verkliga byggnaden båda borde ha en väldigt begränsad personnärvaro.



Figur 27. Beräknat och uppmätt tilluftsflöde i kontorsbyggnaden.

Att modellen genomgående påvisar högre flöden än verkligheten påverkar noggrannheten i energiberäkningen på flera sätt. Eftersom modellen har högre flöden än verkligheten bör modellen även överskatta den del av byggnadens uppvärmning som värmer den undertempererade tilluften i byggnaden innan den lämnar vistelsezonen som varmare frånluft. Dessutom överskattar modellen både den kyl- och värmeeffekt som krävs för att kyla respektive värma tilluften i aggregatet till erforderlig tilluftstemperatur. En uppenbar energipost som överskattas i modellen på grund av höga ventilationsflöden är fastighetselen där fläktarnas elanvändning ingår. Fläktarna använder mer energi vid högre flöden. Dock är fastighetselen inte en av de totalposter som ingår i denna fallstudie varför den inte analyseras vidare.



Figur 28. Beräknad och uppmätt tilluftstemperatur under ventilationens drifttid. Den uppmätta tilluftstemperaturen visas som en funktion av den lokalt uppmätta temperaturen på Epic och den beräknade temperaturen visas som en funktion av utomhustemperaturen i Svebys klimatfil från 2021.

Som visas i figur 28 är den uppmätta tilluftstemperaturen högre än den beräknade för majoriteten av mätpunkterna. Den trenden är som mest tydlig vid utomhustemperaturer över 20 °C där den uppmätta tilluftstemperaturen är högre än den beräknade för i princip alla mätvärden. En lägre tilluftstemperatur i modellen än i verkligheten gör att modellen underskattar uppvärmningsbehovet i luftbehandlingsaggregatet under den kalla årstiden samtidigt som det gör att modellen överskattar kylbehovet i luftbehandlingsaggregatet under den varma årstiden. Det gör också att modellen överskattar rumsvärmningsbehovet under den kalla årstiden och underskattar rumskylningsbehovet under den varma årstiden. Dock spelar det ingen roll för den totala energianvändningen för uppvärmning respektive komfortkyla om luften värms respektive kyls i luftbehandlingsaggregatet eller i lokalen. Om rumsvärmning och rumskylning är dimensionerade och styrda på att kompensera för en viss grad av undertemperering samtidigt

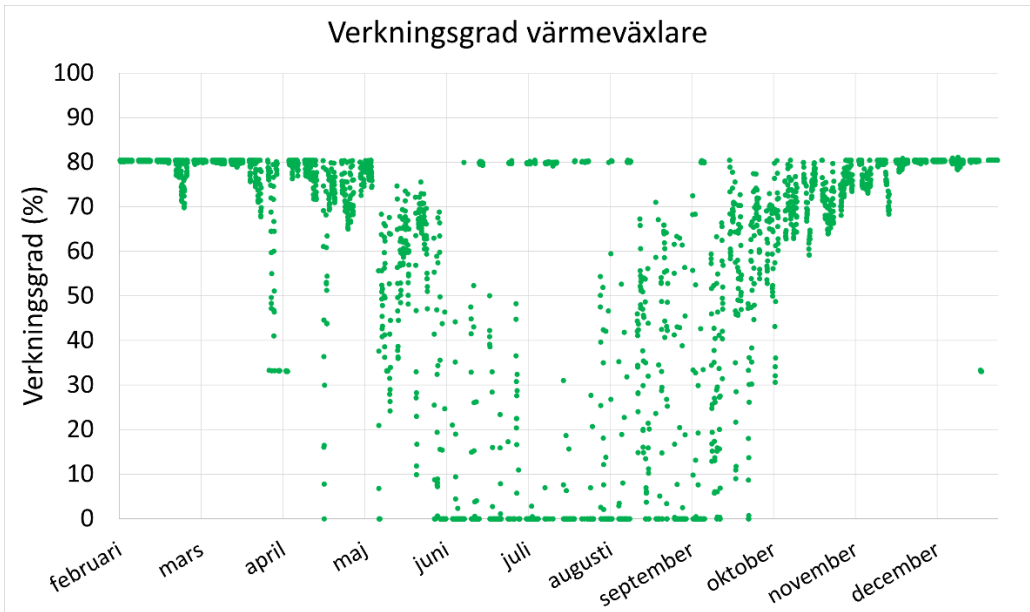
som tilluftstemperaturen är högre än den projekterade finns det risk att byggnaden får oönskat höga inomhustemperaturer. Dock bör styrningen av byggnaden vara tillräckligt anpassningsbar för att kunna hantera en avvikelse i tilluftstemperatur utan att komforten i byggnaden påverkas. Något som också är värt att notera är att trenden för både de beräknade och uppmätta värdenas beroende av utomhustemperaturen har samma form som den temperaturkurva som värmeväxlare samt värme och kyla i luftbehandlingsaggregatet i modellen styrs på, se figur 19. Att de beräknade tilluftstemperaturerna varierar mellan 19 °C och 21 °C i stället för 18,3 °C och 20,3 °C som i figur 19 beror troligen på den temperaturhöjning som sker när luften passerar tilluftsfläkten. Att vissa av de beräknade tilluftstemperaturerna avviker från den övre röda linjen beror troligtvis på att de inträffar tidigt på morgonen precis i samma tidpunkt som ventilationen startar enligt det modellerade schemat.

5.3 Verkningsgrad värmeväxlare

Verkningsgraden för värmeväxlaren är ett mått på hur stor del av den tillgängliga temperaturdifferensen som värmeväxlaren klarar att överföra mellan den varma och kalla sidan. Den tillgängliga temperaturdifferensen är skillnaden mellan frånluftens utgående temperatur och tilluftens ingående temperatur innan värmeväxlaren. Nedan presenteras beräknade och uppmätta värden för värmeväxlarens verkningsgrad samt jämförelser mellan dessa.

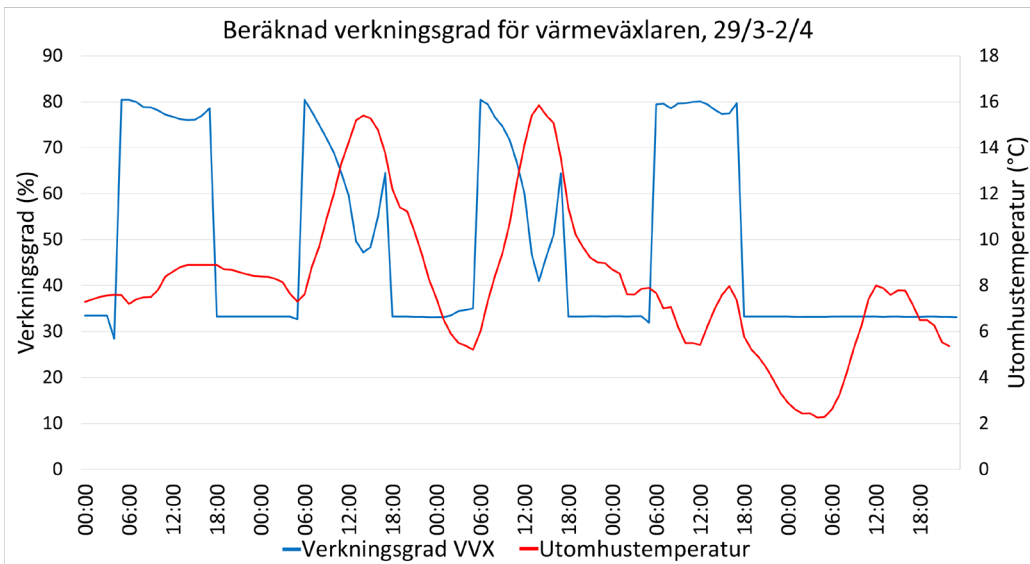
5.3.1 Beräknade värden

Den beräknade verkningsgraden för det modellerade aggregatet visas i figur 29. Den beräknas med modellens beräknade värden för luftens förvärmade temperatur, temperaturen efter värmeväxlaren samt frånluftstemperaturen enligt ekvation 6 som visas i avsnitt 4.3.3.



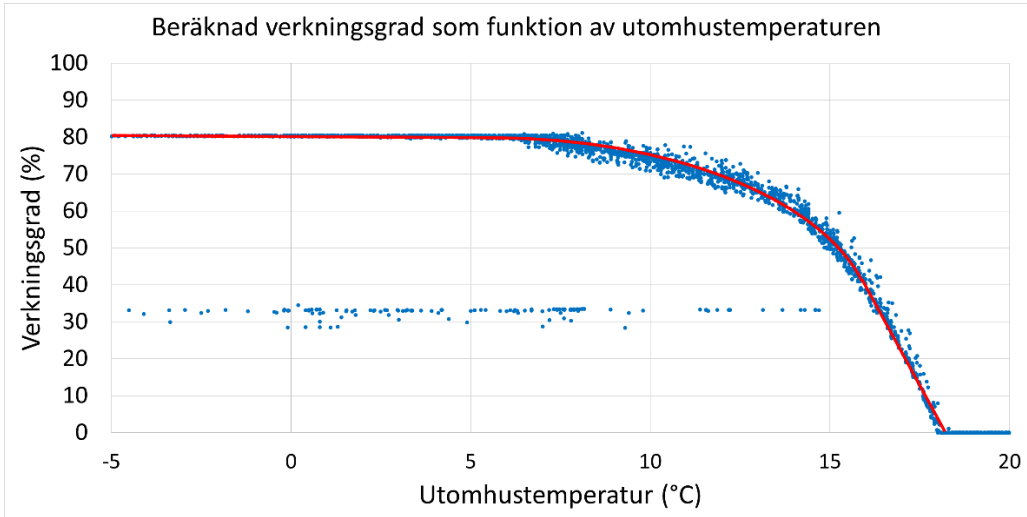
Figur 29. Beräknad verkningsgrad för värmeväxlaren i modellen. Endast värden under ventilationens drifttid visas i figuren.

I figur 30 visas värmeväxlarens verkningsgrad under en vecka tillsammans med utomhustemperaturen under samma period.



Figur 30. Beräknad verkningsgrad samt utomhustemperatur i använd klimatfil under perioden 29/3–2/4. Långfredagen 2021 inföll 2/4.

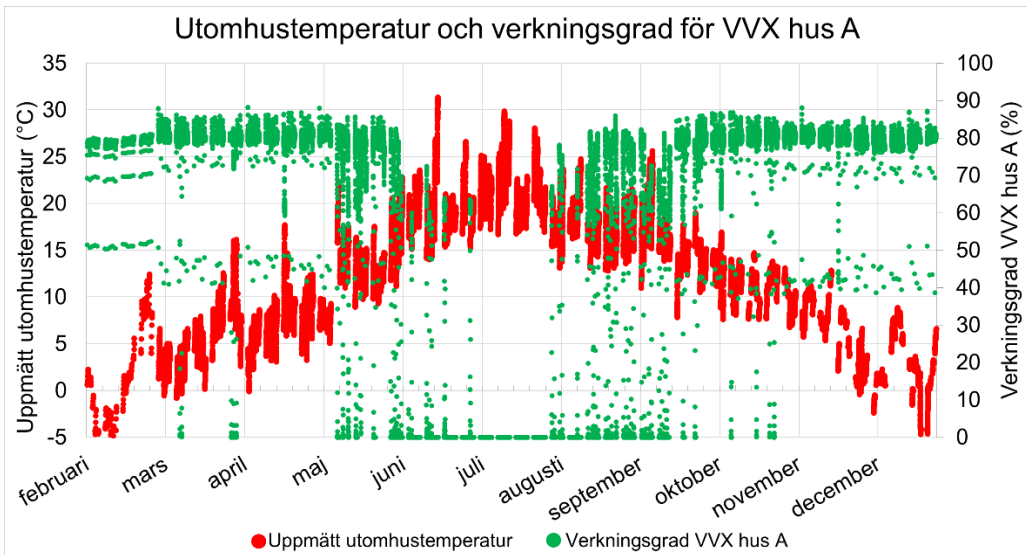
I figur 31 visas verkningsgraden som funktion av utomhustemperaturen i modellens klimatfil.



Figur 31. Värmeväxlarens verkningsgrad som funktion av utomhustemperaturen i modellens klimatfil. En egenritad tolkning av ett samband för de beräknade värdena visas som en röd linje.

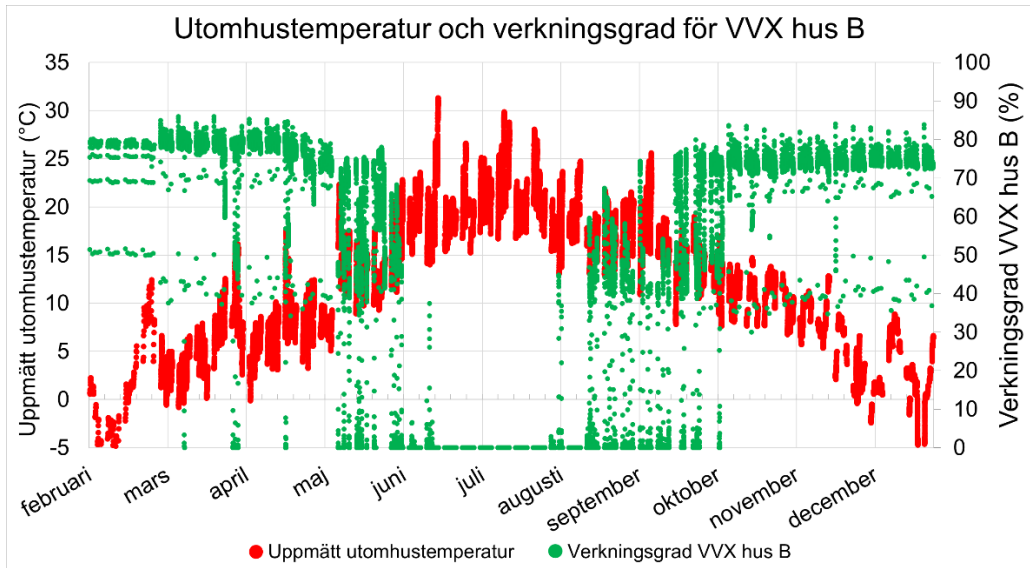
5.3.2 Uppmätta värden

De uppmätta värdena för utomhustemperatur och verkningsgrad för värmeväxlaren i hus A visas i figur 32.



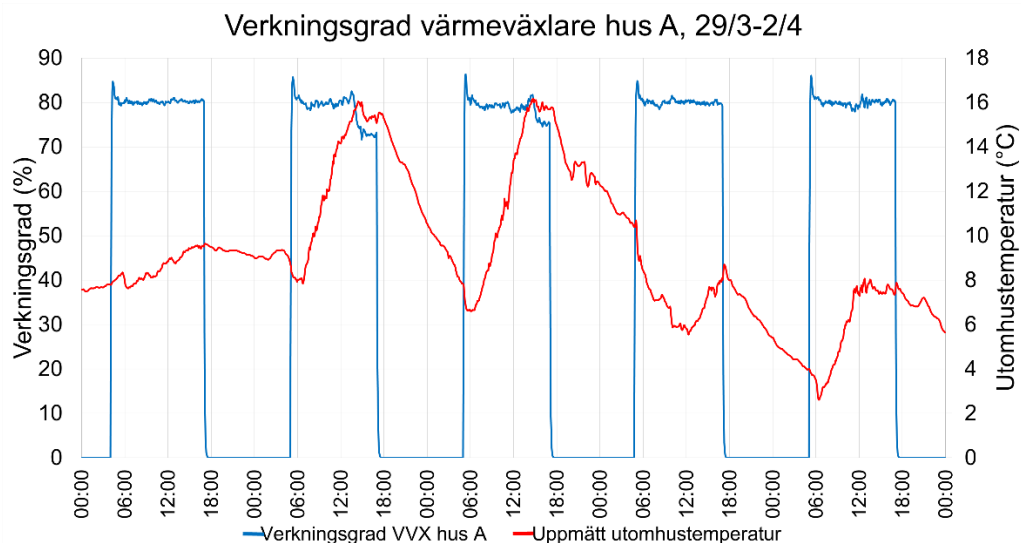
Figur 32. Uppmätt verkningsgrad för hus A samt uppmätt utomhustemperatur. Utomhustemperaturen är uppmätt lokalt på kontorsbyggnaden Epic.

De uppmätta värdena för utomhustemperatur och verkningsgrad för värmeväxlaren i hus B visas i figur 33.



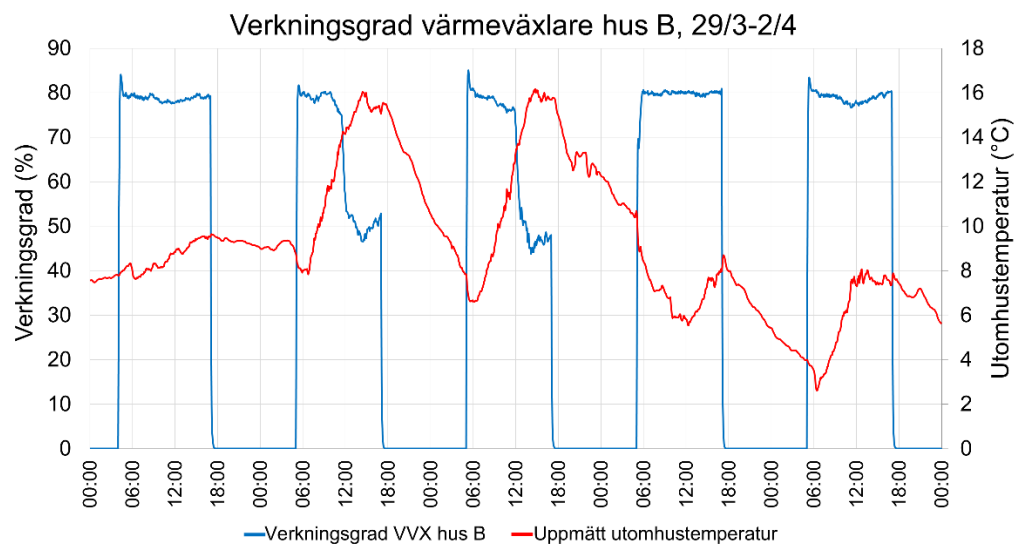
Figur 33. Uppmätt verkningsgrad för hus B samt uppmätt utomhustemperatur. Utomhustemperaturen är uppmätt lokalt på kontorsbyggnaden Epic.

I figur 34 visas den uppmätta verkningsgraden för värmepumpen i hus A under en vecka tillsammans med uppmätt utomhustemperatur under samma period.



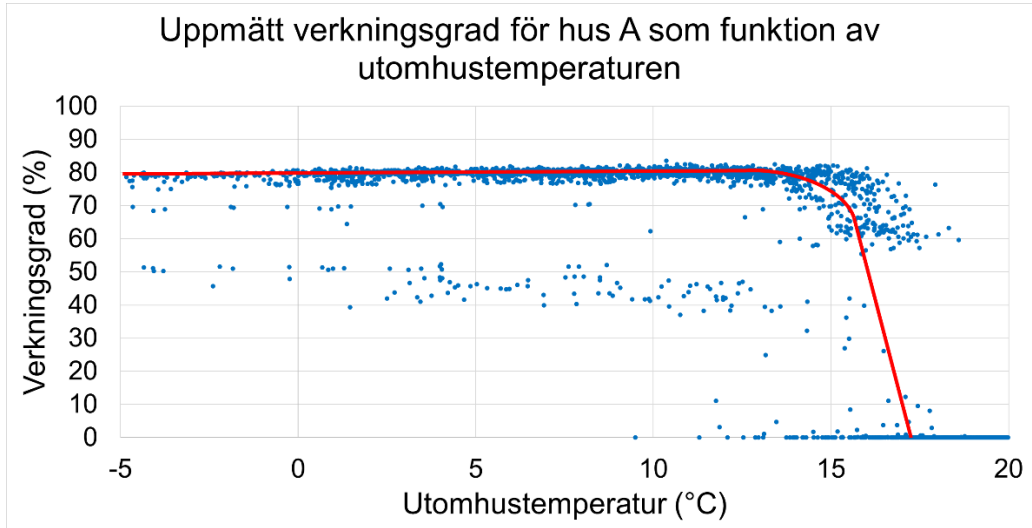
Figur 34. Uppmätt verkningsgrad för värmepumpen i hus A samt uppmätt utomhustemperatur på kontorsbyggnaden under perioden 29/3–2/4. Långfredagen 2021 inföll 2/4.

I figur 35 visas den uppmätta verkningsgraden för värmepumpen i hus B under en vecka tillsammans med uppmätt utomhustemperatur under samma period.



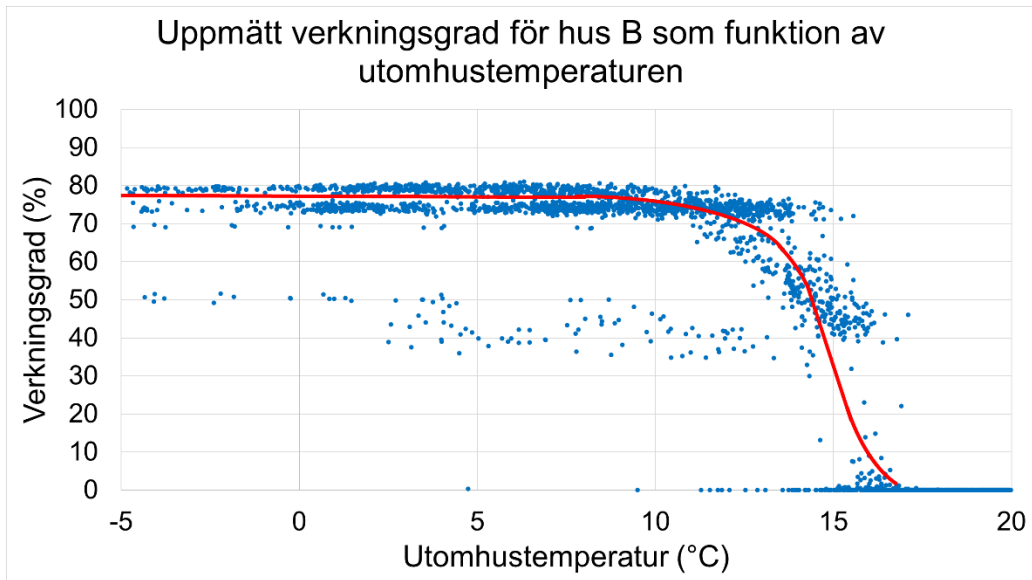
Figur 35. Uppmätt verkningsgrad för värmepumpen i hus B samt uppmätt utomhustemperatur på kontorsbyggnaden under perioden 29/3–2/4. Långfredagen 2021 inföll 2/4.

I figur 36 visas verkningsgraden som funktion av uppmätt utomhustemperatur för hus A.



Figur 36. Värmeväxlarens verkningsgrad i hus A som funktion av uppmätt utomhustemperatur. En egenritad tolkning av ett samband för de beräknade värdena visas som en röd linje.

I figur 37 visas verkningsgraden som funktion av uppmätt utomhustemperatur för hus B.

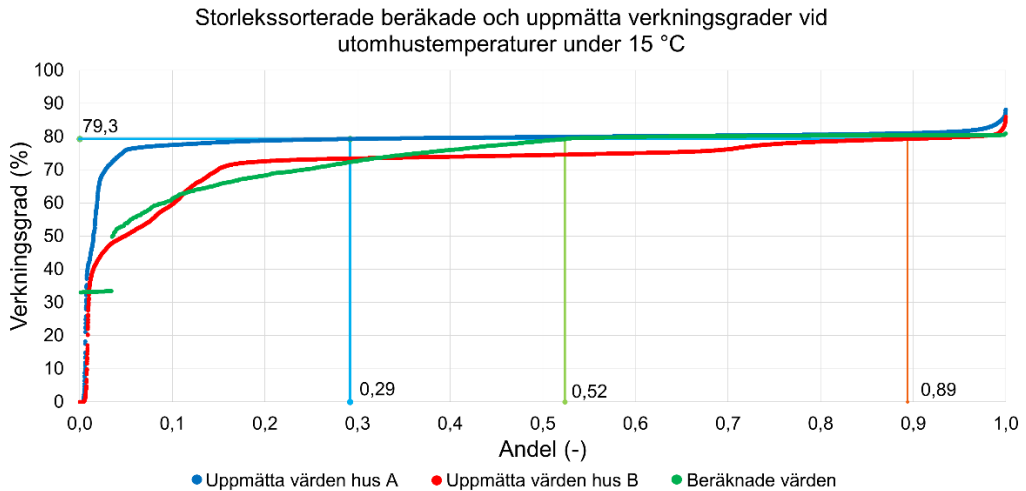


Figur 37. Värmeväxlarens verkningsgrad i hus B som funktion av uppmätt utomhustemperatur. En egenritad tolkning av ett samband för de beräknade värdena visas som en röd linje.

5.3.3 Jämförelse och analys

Vid jämförelse av värmeväxlarens verkningsgrad över året visar det sig att den beräknade variationen över året som visas i figur 29 liknar den för de uppmätta värdena i figur 32 och figur 33. När utomhustemperaturen når en viss nivå börjar verkningsgraden minska. Det beror troligen på att när utomhustemperaturen närmar sig, eller överstiger, önskad tilluftstemperatur är behovet av värmeväxling begränsat. Det går att notera i figur 31 att den beräknade verkningsgraden avviker från den stadiga nivån strax under 80 % redan när utomhustemperaturen understiger 10 °C. För de uppmätta värdena i hus A och B sker detta inte förrän utomhustemperaturen når 15 °C respektive 12 °C, se figur 36 och figur 37. Att resultaten av de uppmätta värdena skiljer sig mellan de två husen kan vara ett tecken på att hus B:s värmeväxlare är känsligare för temperaturskillnader än den i hus A. Det mönstret syns också vid en jämförelse mellan figur 34 och figur 35 där verkningsgraden för värmeväxlaren i hus B mycket tydligare sjunker vid högre utomhustemperaturer. Dock verkar det som att mönstret i hus B är väldigt likt det beräknade i figur 30 med enda skillnaden att modellen tar hänsyn till att långfredagen 2021 inföll fredagen 2/4. Ventilationen i modellen är styrd att stängas av alla röda dagar, något som inte verkar ske i verkligheten.

I figur 38 visas storleks sorterade beräknade och uppmätta verkningsgrader. Värt att notera är att majoriteten av de uppmätta värdena för hus B ligger strax över 74 % och för hus A strax under 80 %. De beräknade värdena har en något större spridning som totalt kan tolkas ligga på ett värde mellan de uppmätta värdena för hus A och B. I figuren markeras hur stor andel av värdena för respektive serie som understiger leverantörens torra verkningsgrad på 79,3 %. Det visar sig då att hus A har en värmeväxlare med högre verkningsgrad än modellen och hus B en värmeväxlare med lägre verkningsgrad än modellen. Möjligtvis är detta ett exempel på att data för olika parametrar bäst beskrivs som en spridning av tänkbara värden, något som diskuteras i litteraturstudien i avsnitt 3.1.1. Att värmeväxlarnas verkningsgrad skiljer sig åt mellan hus A och B kan också bero på olika grad av balansering av ventilationsflödena i de båda husen. Balanseringen har inte jämförts mellan hus A och B i denna studie varför inga slutsatser kring inverkan av detta kan dras.



Figur 38. Storleks sorterade beräknade och uppmätta värden för verkkningsgrader på värmesväxlaren under ventilationens drifttid. Värden vid utomhustemperaturer över 15 °C utesluts ur diagrammet. Andelen värden för respektive serie som understiger den, av tillverkaren angivna torra verkkningsgraden 79,3 %, visas också i figuren.

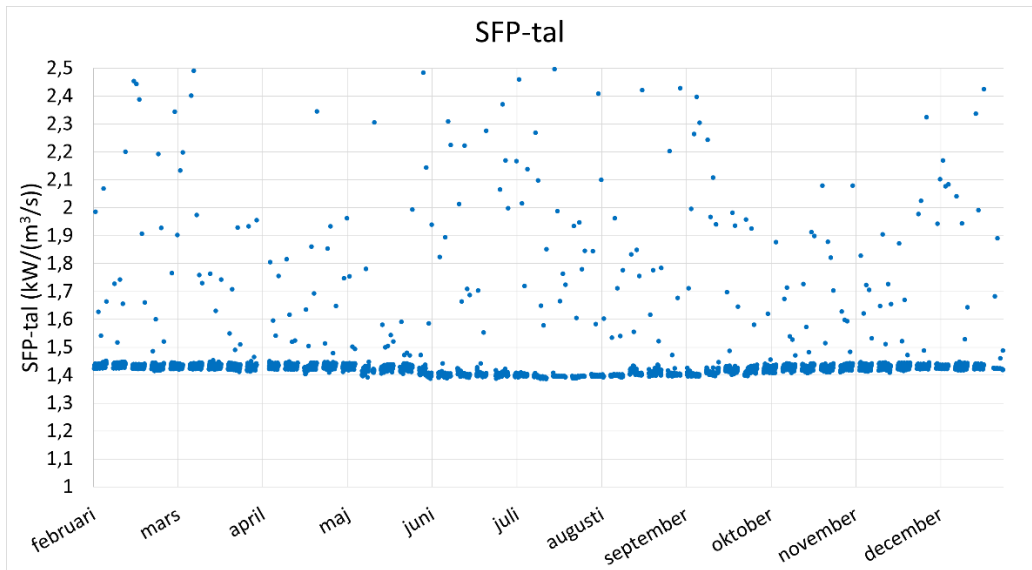
Att verkkningsgraden är lägre än den angivna torra verkkningsgraden i hus B för 89 % av mätvärdena vid en utomhustemperatur under 15 °C betyder att den uppmätta energianvändningen för uppvärmning i luftbehandlingsaggregatet bör vara högre än den beräknade. Å andra sidan visar 71 % av mätvärdena i hus A en högre verkkningsgrad än den torra verkkningsgraden vilket kan göra att skillnaderna totalt i båda husen mellan uppmätt och beräknad energianvändning kan jämnas ut sig. Exakt hur stora energiskillnaderna är är svårt att uppskatta och således går det inte att med denna fallstudies resultat säga om modellen överskattar eller underskattar värmebalansens post som inbegriper uppvärmning i luftbehandlingsaggregatet.

5.4 SFP-tal

SFP-talet, specifik fläkteffekt, är ett mått på hur stor effekt aggregatets fläktar behöver för att skapa det flöde av luft som ventilationen kräver. Ett lägre SFP-tal innebär en mer energieffektiv fläkt och således lägre användning av fastighetsel. Nedan presenteras resultatet för beräknade och uppmätta SFP-tal samt jämförelser mellan dessa.

5.4.1 Beräknade värden

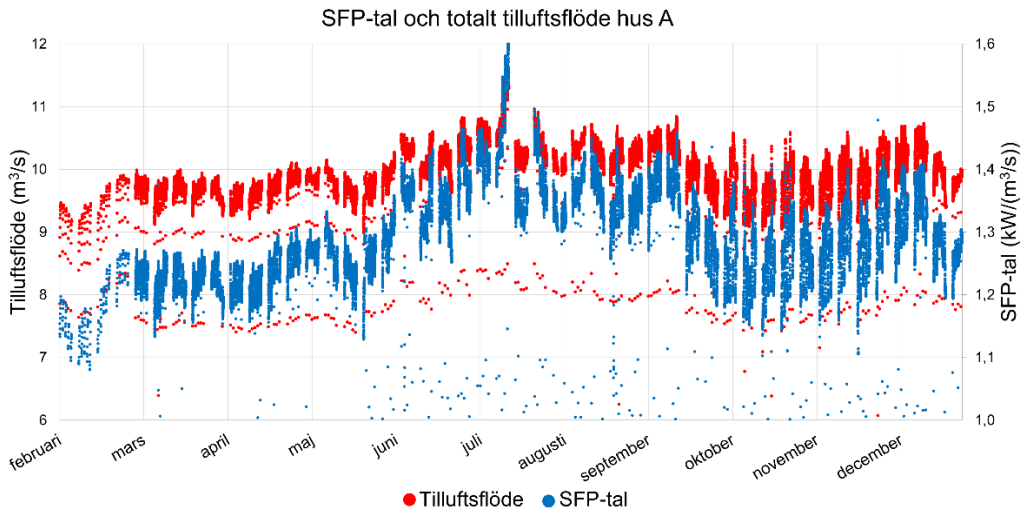
Beräknade värden för aggregatets SFP-tal visas i figur 39. Aggregaten i hus A och B modelleras som ett aggregat i IDA ICE. Som visas i figuren ligger nästintill alla beräknade värden över 1,4 kW/(m³/s).



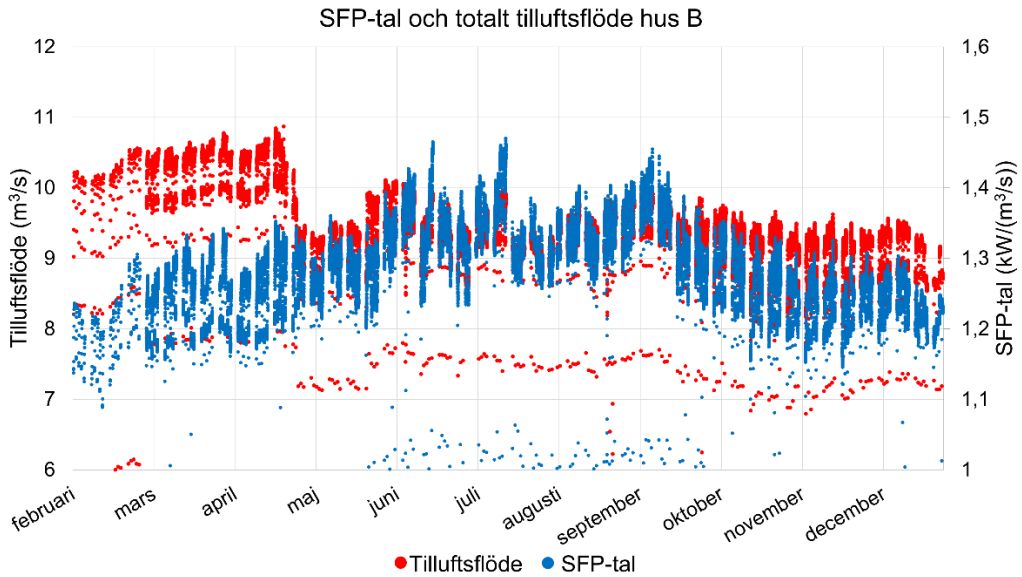
Figur 39. Beräknade timvärden för SFP-tal för det modellerade aggregatet.

5.4.2 Uppmätta värden

I figur 40 och figur 41 visas SFP-talen för hus A respektive hus B tillsammans med tilluftsflödet. Som visas i figuren ligger det uppmätta SFP-talet för hus A kring 1,25 kW/(m³/s) förutom på sommaren då det ligger högre. För hus B följer det ungefär samma värden och mönster som hus A.



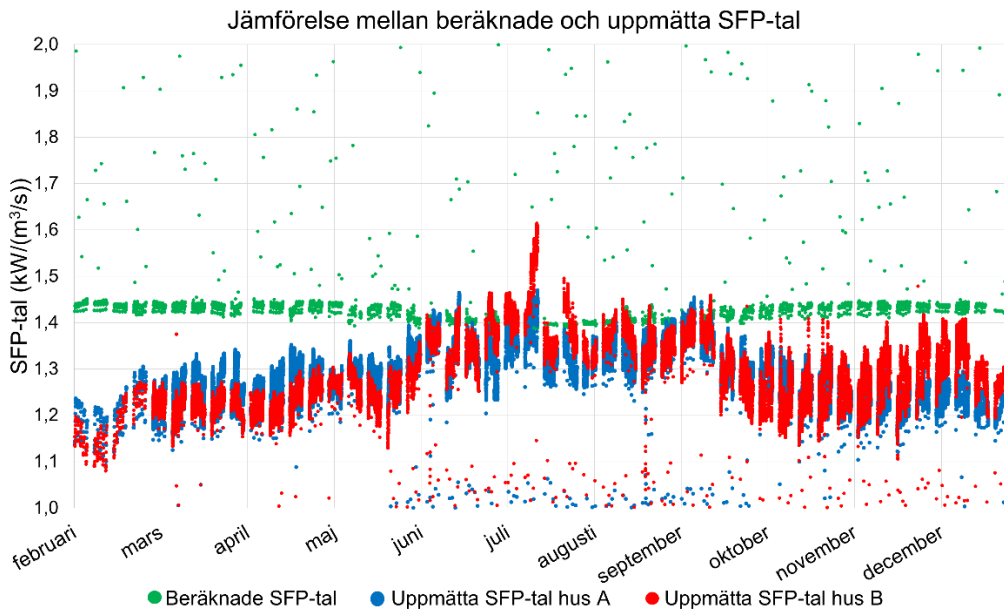
Figur 40. Uppmätt SFP-tal för aggregatet i hus A samt dess samband med uppmätt tilluftsflöde i hus A. Endast värden under ventilationens drifttid är inkluderade.



Figur 41. Uppmätt SFP-tal för aggregatet i hus B samt dess samband med uppmätt tilluftsflöde i hus B. Endast värden under ventilationens drifttid är inkluderade.

5.4.3 Jämförelse och analys

En påtaglig skillnad mellan de beräknade och de uppmätta värdena är att de beräknade inte ser ut att variera särskilt mycket över året medan de uppmätta värdena varierar med tilluftsflödet som i sin tur varierar över året. Fläkteffekten är styrd att variera med flödet enligt tillgänglig ASHRAE-standard i IDA ICE men exakt hur den ser ut är inte undersökt i denna studie. Uppenbart är att SFP-talet varierar mer i verkligheten än i modellen.



Figur 42. Jämförelse mellan de beräknade värdena och de uppmätta värdena i hus A och B. Endast värden under ventilationens drifttid är inkluderade.

I figur 42 visas en jämförelse mellan de beräknade och de uppmätta värdena som visar att de uppmätta SFP-talen generellt är lägre än modellens. Det innebär att fläktarna använder mindre energi i verkligheten än vad som förutses i beräkningarna. Fläktarnas energianvändning redovisas vid energiberäkningar under posten fastighetsel, en post som inte tas upp i jämförelser i denna fallstudie. Under avsnitt 5.2 visas att de uppmätta ventilationsflödena är lägre under 2021 än i modellen och huruvida detta påverkar även de uppmätta SFP-talen till det lägre är svårt att säga. Figur 40 och figur 41 visar att SFP-talet ökar vid högre tilluftsflöden. Om närvaron, och således också ventilationsflödet, varit lägre under 2021 än normalt på grund av pandemirestriktioner kan de låga uppmätta SFP-talen förklaras av ett lägre tilluftsflöde. Dock ser inte SFP-talet ut att följa tilluftsflödets kurva för hus B under början av 2021. Under samma period har det tidigare i rapporten visats att obalansen i byggnadens från- och tilluftsflöden avviker och är större än önskvärt. När SFP-talet inte heller följer tilluftsflödet i figur 41, under samma period som den större obalansen påvisas, går det att ifrågasätta mätningarna. Eventuellt kan båda dessa avvikelser bero på fel i mätdata men det går inte att säga säkert.

5.5 Inomhusklimat, enskilda rum

De enskilda rummen mötesrum A6, B4, B6 och kontorsrum A8 inomhusklimat studeras och dess beräknade och uppmätta rumstemperatur och koldioxidhalt presenteras som storleksordnade värden nedan samt jämförs och analyseras. Vidare studeras gränsvärden för parametrarna i de enskilda rummen, rumstemperatur eller koldioxidhalt som styr ventilationsspjällen och då även forcering av ventilationsflöden. Gränsvärdet för forcering under vardagar är för ventilationsschemat i beräkningsmodellen och i

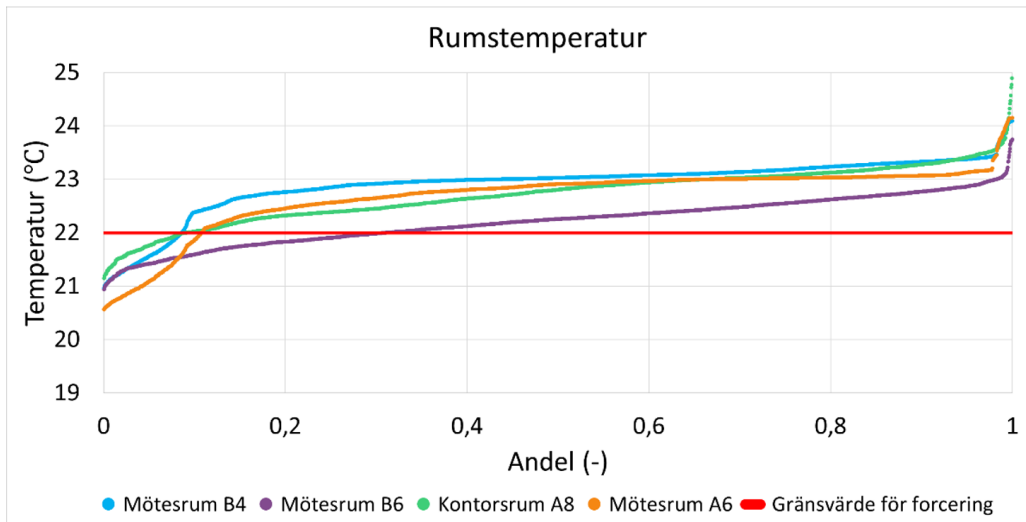
verkligheten projekterad att forcera när rumstemperaturen överskrider 22 °C eller när koldioxidhalten överskrider 600 ppm. De fyra rummen skiljer som nämnt i utformning och användning, se tabell 22.

Tabell 22. Förtydligande tabell över tillgänglig information för de fyra enskilda rummen. Samma tabell som tidigare presenterats i rapporten.

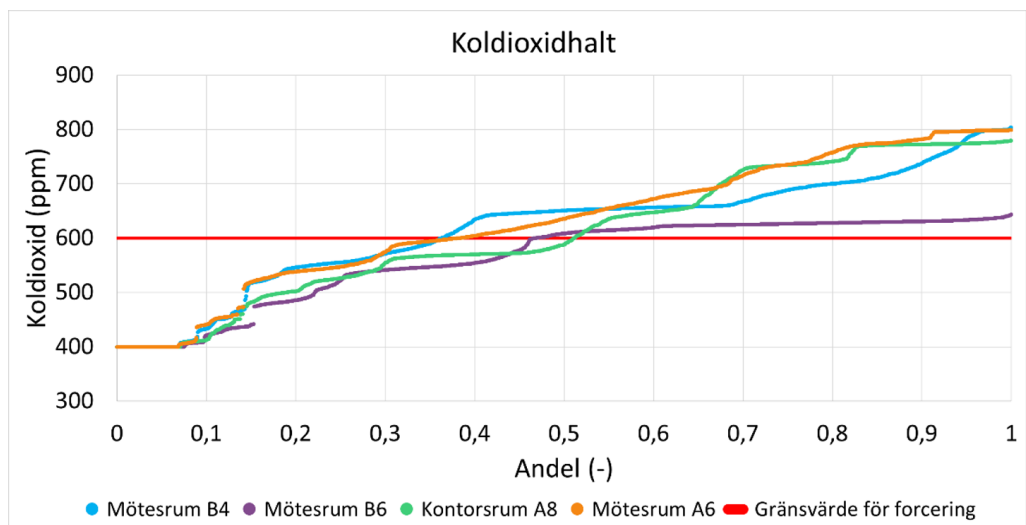
Rum	Mötesrum A6	Kontorsrum A8	Mötesrum B4	Mötesrum B6
Användning	Mötesrum	Kontorsrum	Mötesrum	Mötesrum
Dimensionerat antal personer	6	8	4	6
Våningsplan	3	5	3	6
Golvarea (m ²)	17	24	10	16
Antal väggar mot uteklimat	0	2	0	1
Tak mot uteklimat	Nej	Ja	Nej	Ja
Ventilationssystem	VAV	VAV	VAV	VAV
Dimensionerat maximalt tillufts- och frånluftsflöde (l/s,m ²)	Tilluft: 6,1 Frånluft: 0	Tilluft: 6,6 Frånluft: 0	Tilluft: 5,4 Frånluft: 0	Tilluft: 6,5 Frånluft: 3,6
Antal fönster, riktning	0	2, väst, 2, norr	1, ariet	2, syd
Solavskärmning	Nej	Nej	Nej	Ja, invändig gardin

5.5.1 Beräknade värden

Resultatet av de beräknade rumstemperaturerna och koldioxidhalterna i de fyra enskilda rummen under vardagar klockan 7–17 visas i figur 43 respektive figur 44. För samtliga rum överskrider rumstemperaturen 22 °C för 70 % av värdena. Dessutom visar figuren på att gränsvärdet för rummens koldioxidhalt på 600 ppm överstigs för samtliga rum för 48 % av värdena. Rumstemperaturen borde alltså vara den parameter som styr forceringen av ventilationsluften, eftersom gränsvärdet på 22 °C överskrids oftare.



Figur 43. Beräknad rumstemperatur för de fyra enskilda rummen.

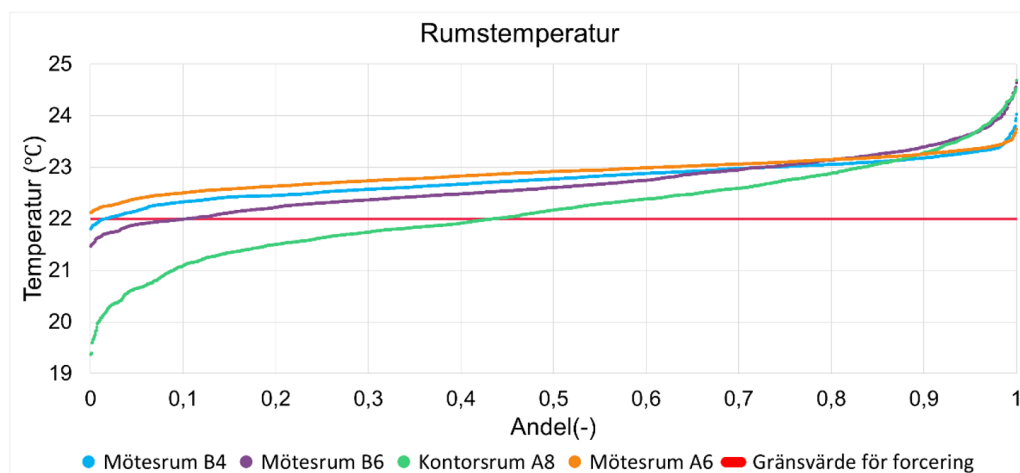


Figur 44. Beräknad koldioxidhalt för de fyra enskilda rummen.

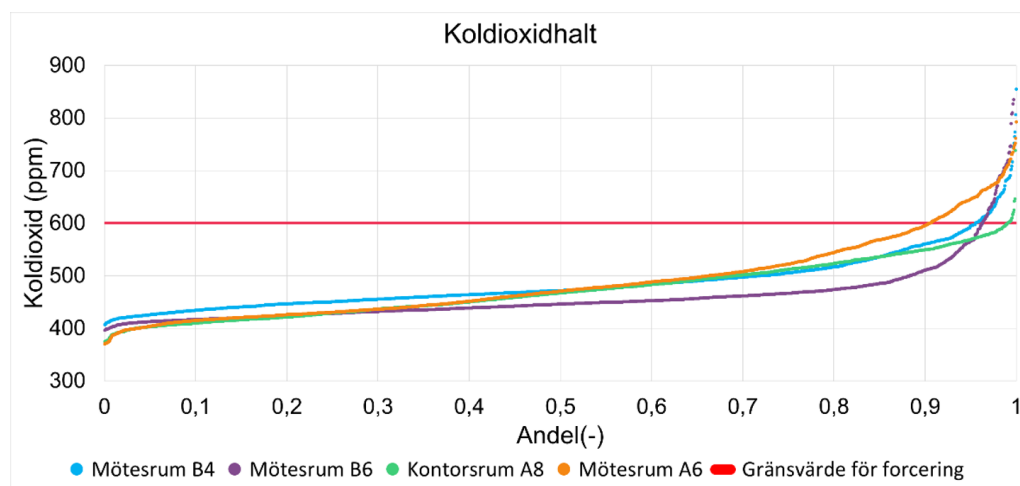
5.5.2 Uppmätta värden

Vidare studeras även de fyra enskilda rummens uppmätta rumstemperaturer och koldioxidhalt med samma indelningar och sorteringar som de beräknade värdena. Resultatet av de uppmätta rumstemperaturerna och koldioxidhalterna i de fyra rummen under vardagar klockan 7–17 visas i figur 45 respektive figur 46. För tre av rummen överskrids rumstemperaturen 22 °C för 90 % av värdena och för de fjärde rummet för 56% av värdena. Gränsvärdet för koldioxidhalten överskrids dock endast för 10 % av samtliga

rumsvärden. Alltså borde rumstemperaturen vara den parameter som styr ventilations-spjällen och då vidare forceringen av ventilationsflödet, eftersom gränsvärde på 22 °C överskrids oftare.



Figur 45. Uppmätt rumstemperatur för de fyra enskilda rummen.



Figur 46. Uppmätt koldioxidhalt för de fyra enskilda rummen.

5.5.3 Jämförelse och analys

I IDA ICE modelleras de maximala tillåtna rumstemperaturerna respektive koldioxidhalterna till 23 °C och 800 ppm vilket också ses i resultatet genom att kurvorna planar ut vid dessa värden, se figur 43 respektive figur 44. Mötesrum B6 ligger lägre i rumstemperatur och koldioxidhalt vilket kan förklaras med att detta rum även modelleras med frånluftsventilation efter ritningsunderlaget och inte endast överluft som de andra rummen, dessutom är rummet endast anpassat för fyra personer.

I de uppmätta värdenas resultat ligger rumstemperaturen i kontorsrum A8 tydligt lägre än resterande rum även om koldioxidkurvan följer de andra rummens kurvor, se figur 45 och figur 46. Detta resultat kan förklaras genom att kontorsrum A8 har större andel ytor mot uteklimat, två ytterväggar och tak, till skillnad från de andra rummen. Dock borde rummet inte vara så mycket kallare än de andra då byggnadens värmesystem borde reglera detta bättre och ge en högre effekt på radiatorn i detta rum för att motverka den lägre rumstemperaturen under vardagarna.

Som resultaten visar för både de beräknade och uppmätta värdena så är rumstemperaturen den styrande parametern för forcering av ventilationsflöden i samtliga rum då 22 °C överskrids oftare än 600 ppm. Eftersom koldioxidhalterna under dagtid på vardagarna i verkligheten sällan överskrider 600 ppm, se figur 46, kan de tolkas som att rummen sällan används i tillräcklig grad för att luftflödena ska behöva forcera i de olika enskilda rummen. Detta kan tolkas som att det finns en risk att rummen forcerar luft trots att ingen använder rummen. Dock kan koldioxidhalterna hållas nere genom att forcering av luftflöden redan sker på grund av att rumstemperaturen är över 22 °C och då ventilerar bort koldioxidhalterna snabbare.

Hur inomhusklimatet och skillnaden mellan de beräknade och det uppmätta resultatet påverkar energianvändningen är svårt att avgöra. Rumstemperaturen är beroende av samtliga poster i värmebalansen. Temperaturkurvorna har generellt liknande tendenser för beräknade och uppmätta värden även om de beräknade värdena för koldioxidhalterna är tydligt högre. För att koldioxidhalten i rummet ska öka måste det finnas en personnärvaro. Det kan därför antas att det är högre personnärvaro i modellen än i den verkliga byggnaden. En större personnärvaro bör ge ett mindre uppvärmningsbehov i byggnaden på grund av tillskottsvärmen som personerna och dess utrustning ger. Detta resonemang stämmer överens mot ovan presenterat resultat över byggnadens totala energianvändning för uppvärmning där den beräknade uppvärmning är mindre än den uppmätta. Dessutom stämmer resonemanget mot komfortkylans energianvändning som presenteras ovan, där den beräknade komfortkylan är större än den uppmätta. Det behövs mer komfortkyla om det är större personnärvaro och tillskottsvärme, då byggnaden behöver kylas mer för ett bra inneklimat. Dock beror rumstemperaturerna på mer än endast personnärvaro, vilket kan styrkas av att de uppmätta värdenas temperatur liknar de beräknade under året trots att det antas var mindre närvaro i verkligheten.

Ventilationens flöden och tilluftstemperatur påverkar även rummens temperaturer och koldioxidhalter. Ett högt ventilationsflöde håller nere rummets koldioxidhalter vilket också kan vara en påverkande faktor i resultatet och en anledning till att endast 10 % av rummen i verkligheten överstiger 600 ppm. Är tilluftstemperaturen varm blir även rumstemperaturen varm och är det stort tilluftsflöde så blir rummet varmare snabbare. Hur styrningen och inställningarna på ventilationsflödet och rummets gränsvärde för forcering är i verkligheten kan skilja mellan rummen och mellan årstiderna då det kan regleras i den verkliga byggnaden efter hyresgästernas önskemål. Det blir således en osäkerhet i hur gränsvärdet för forcering egentligen stämmer för alla värden som visas i resultatet då historiken för driftinställningarna inte undersökts i denna fallstudie.

5.6 Närvaroschema, enskilda rum

För de enskilda mötesrum A6, B4, B6 och kontorsrum A8 är det modellerade närvaroschemat för belysning, utrustning och personer 70 % under vardagar klockan 8–17. De uppmätta rumstemperaturerna och koldioxidhalterna för respektive rum under dygn 2–3 mars och 31 augusti–1 september presenteras nedan för att vidare jämföras och analyseras. De fyra rummen skiljer som nämnt i utformning och användning, se tabell 23.

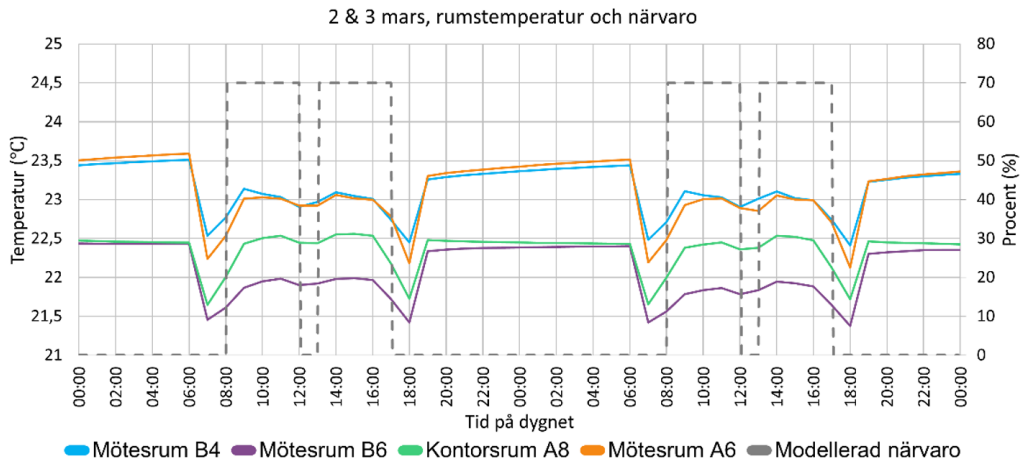
Tabell 23. Förtydligande tabell över tillgänglig information för de fyra enskilda rummen. Samma tabell som tidigare presenterats i rapporten.

Rum	Mötesrum A6	Kontorsrum A8	Mötesrum B4	Mötesrum B6
Användning	Mötesrum	Kontorsrum	Mötesrum	Mötesrum
Dimensionerat antal personer	6	8	4	6
Våningsplan	3	5	3	6
Golvarea (m ²)	17	24	10	16
Antal väggar mot uteklimat	0	2	0	1
Tak mot uteklimat	Nej	Ja	Nej	Ja
Ventilationssystem	VAV	VAV	VAV	VAV
Dimensionerat maximalt tillufts- och frånluftsflöde (l/s, m ²)	Tilluft: 6,1 Frånluft: 0	Tilluft: 6,6 Frånluft: 0	Tilluft: 5,4 Frånluft: 0	Tilluft: 6,5 Frånluft: 3,6
Antal fönster, riktning	0	2, väst, 2, norr	1, ariet	2, syd
Solavskärmning	Nej	Nej	Nej	Ja, invändig gardin

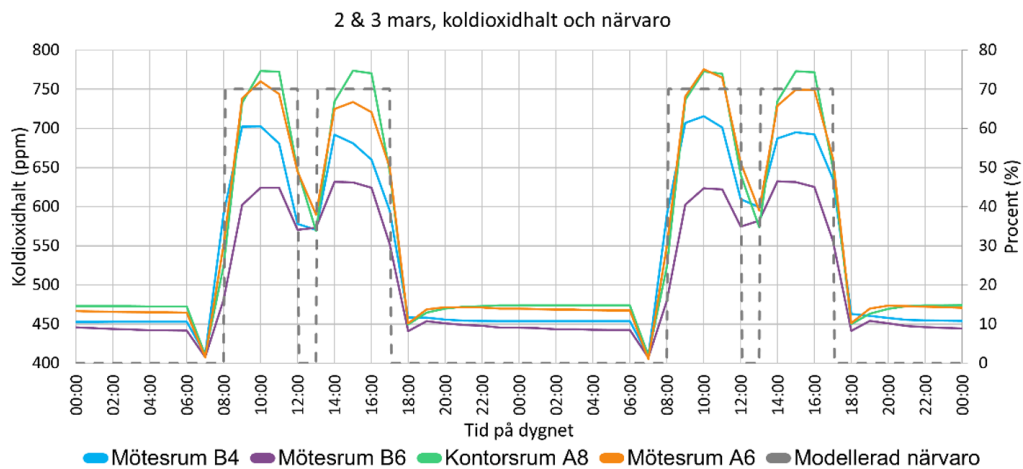
5.6.1 Beräknade värden

Det modellerade närvaroschemat för de fyra rummen under dygnen 2 mars och 3 mars mot de beräknade rumstemperaturerna och koldioxidhalterna visas i figur 47 respektive figur 48. Figuren visar att rummen som ligger utan ytor mot uteklimatet, mötesrum A6 och B4, är varmare än de andra två rummen under de två vinterdygnen.

Energianvändning i kontor

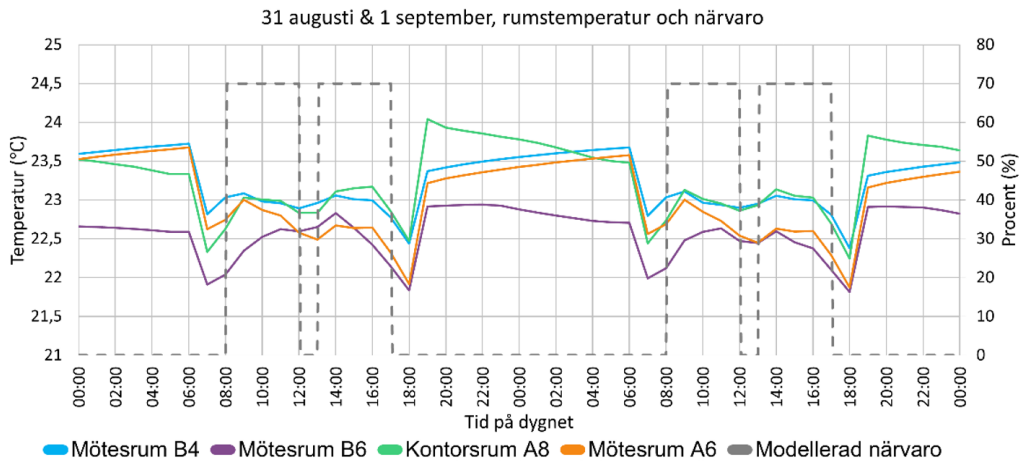


Figur 47. Beräknade rumstemperaturer och det modellerade närvaroschemat.

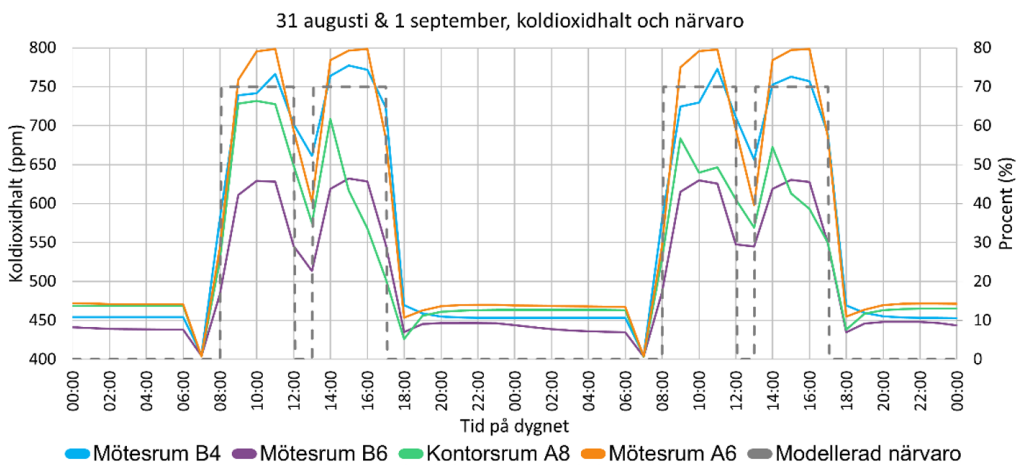


Figur 48. Beräknade koldioxidhalter och det modellerade närvaroschemat.

Det modellerade närvaroschemat för de fyra rummen under dygnet 31 augusti och 1 september mot de beräknade rumstemperaturerna och koldioxidhalterna visas i figur 49 respektive figur 50. Figuren visar på att samtliga rum är varmare än 22,5 °C under timmarna som rummen används och att kontorsrum A8 är det varmaste rummet tillsammans med mötesrum B4. Koldioxidhalterna stiger under närvarotimmarna och går ner under nattetid och lunchtimmen när rummen är modellerade utan närvaro.



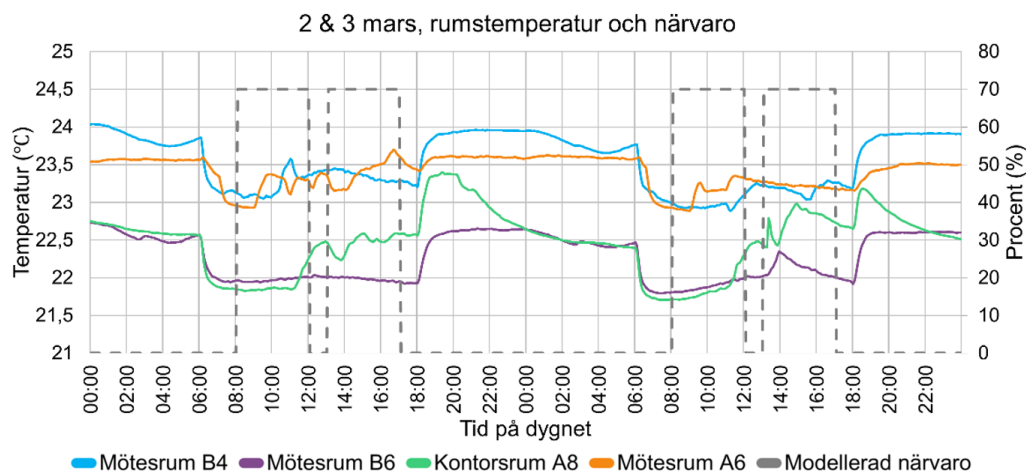
Figur 49. Beräknade rumstemperaturer och det modellerade närvaroschemat.



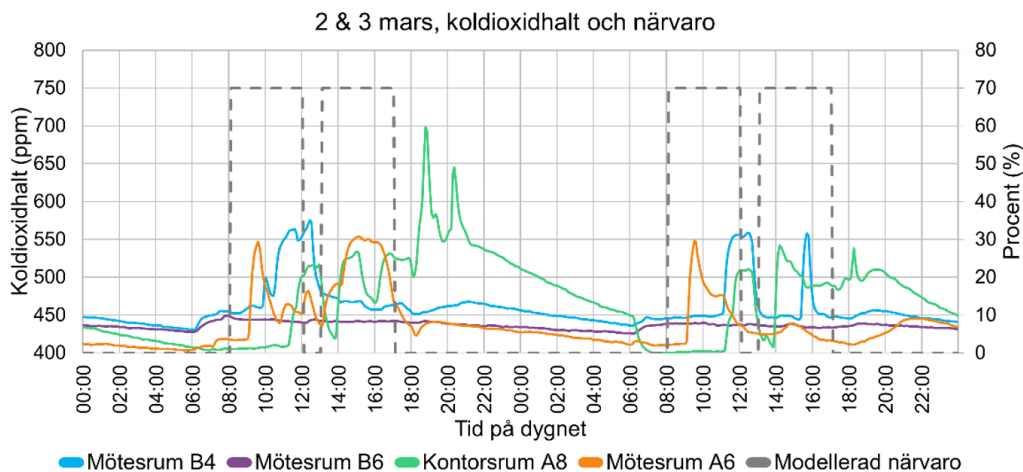
Figur 50. Beräknade koldioxidhalter och det modellerade närvaroschemat.

5.6.2 Uppmätta värden

Det modellerade närvaroschemat för de fyra rummen under dygnet 2 mars och 3 mars mot de uppmätta rumstemperaturerna och koldioxidhalterna visas i figur 51 respektive figur 52. Figuren visar på att mötesrum B4 och A6 är varmare än de andra två som har ytor mot uteklimatet.

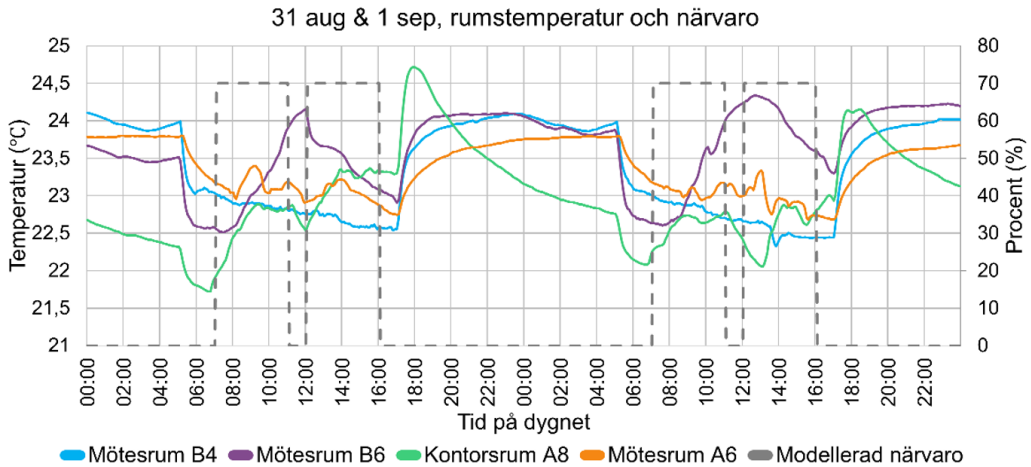


Figur 51. Uppmätta rumstemperaturer och det modellerade närvaroschemat.

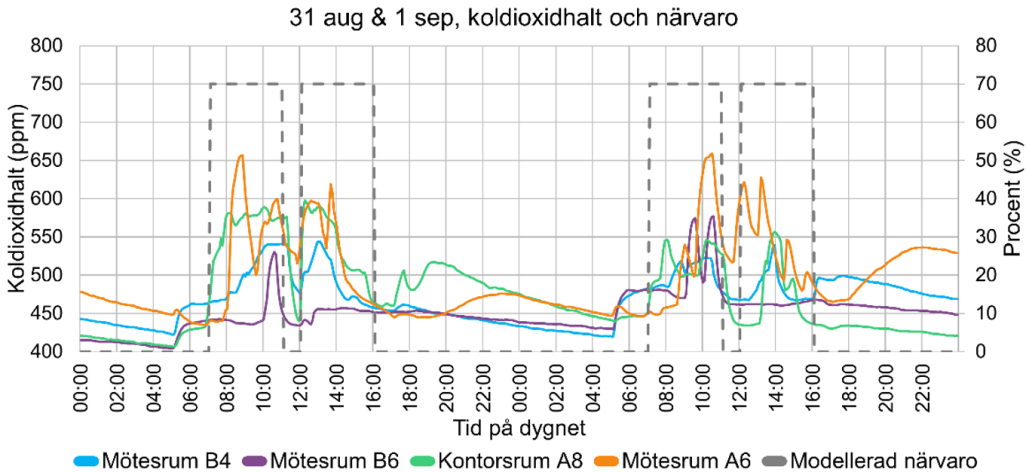


Figur 52. Uppmätta koldioxidhalter och det modellerade närvaroschemat.

Det modellerade närvaroschemat för de fyra rummen under dygnen 31 augusti och 1 september mot de uppmätta rumstemperaturerna och koldioxidhalterna visas i figur 53 respektive figur 54. Figuren visar att mötesrum B6 blir varmast under dagtid med en temperatur över 24 °C. Under nätterna går rumstemperaturen för kontorsrum A8, som har störst andel ytor mot uteklimatet, ner mer än för de andra rummen. Koldioxidhalterna går ner under nattetid och även under lunchtid, dock visar figurerna på att koldioxidhalterna inte ökar under varje förmiddag och eftermiddag.



Figur 53. Uppmätta rumstemperaturer och det modellerade närvaroschemat.



Figur 54. Uppmätta koldioxidhalter och det modellerade närvaroschemat.

5.6.3 Jämförelse och analys

I resultatet för de beräknade värdena visas det tydligt att kurvorna för rumstemperatur och koldioxidhalt varierar enligt samma mönster som det modellerade närvaroschemat under dygnet. Mötesrum B4 och A6 är varmare under marsdagarna vilket kan förklaras med att de inte har ytor mot uteklimatet. Att kontorsrum A8 har störst andel ytor mot uteklimatet förklarar varför rummet är varmt under 31 augusti och 1 september. Anledningen till att mötesrum B6 som är i söderläge och har ytor mot uteklimatet inte blir lika varmt kan vara att rummet är modellerat med solavskärmning för fönstret, något som kontorsrum A8 inte är. Som tidigare nämnt är mötesrum B6 modellerat med frånluft vilket kan förklara att rummet har lägst koldioxidhalt av de fyra rummen. Resterande rums koldioxidhaltkurvor under dagarna 2–3 mars placerar sig i ordning efter rummens

dimensionerade personantal då dessa tre rum alla har överluft. Varför kontorsrum A8 koldioxidhalts kurva är lägre och ser annorlunda ut till kurvform under 31 augusti och 1 september är svårt att säga.

I resultatet för de uppmätta koldioxidhalterna kan kopplingen göras att då koldioxidhalten är under 450 ppm är det inga människor i rummen. Detta eftersom koldioxidhalten går ner mot 400–450 ppm under nattetid. Rumstemperaturerna verkar även stiga då koldioxidhalterna ökar i rummen vilket kan ses som rimligt då personnärvaro och den datorutrustning de tar med sig avger värme som höjer rumstemperaturen. Kontorsrum A8 och mötesrum B6 har lägre rumstemperaturer under marsdagarna vilket kan förklaras med den större andelen ytor mot uteklimatet, men också en mindre brukaranvändning då koldioxidhalten är lägre för dessa rum än de andra. Börvärdet för inomhustemperaturerna under sommarmånaderna är 23 °C vilket också är den rumstemperaturen som rummen ligger runt under 31 augusti och 1 september, se figur 53 Under marsdagarna är börvärdet 22 °C, vilket överskrids med mer än 1 °C för mötesrum B4 och A6, se figur 51.

Under marsdagarna under de modellerade närvarotimmarna placerar sig rummens temperaturer i samma ordningsföljd för de beräknade och uppmätta värdena. Mötesrum B4 och A6 är tydligt varmest runt 23 °C, därefter placerar sig kontorsrummet A8 med generellt en halv grad lägre rumstemperatur och lägst placerar sig mötesrum B6 runt 22 °C. Rumstemperaturerna beror på samtliga poster i värmebalansen, och inte endast andel ytor mot uteklimatet som nämnts. Det kan dock argumenteras för att skillnader mellan rummen inte borde vara så markanta och i stället borde radiatorsystemet reglera detta i respektive rum för att rummen ska hålla de börvärden som byggnaden är projekterad för. Rummens skillnader kan alltså bero på driftinställningar eller styrning av byggnaden som inte reglerar exempelvis radiatoreffekterna i respektive rum på ett rätt anpassat sätt. Om denna styrning är samma i modellen och i verkligheten eller om det är en slump att marsdagarna visar på samma rumstemperaturtendenser för både de beräknade och uppmätta värdena är svårt och säga då rumstemperaturen beror på samtliga poster i värmebalansen.

Vid jämförelse mellan de beräknade och uppmätta resultaten är det en märkbar skillnad i att de uppmätta värdena inte följer samma tydliga kurvor och tendenser under dygnen som de beräknade resultaten. I de uppmätta värdena finns det variationer mellan rummen men också variationerna över timmarna inom samma rum under de modellerade närvarotimmarna till skillnad från de beräknade. Till exempel under marsdagarna verkar mötesrum B6 inte användas eftersom koldioxidhalten är på samma nivå under dygnets alla timmar för de uppmätta värdena. Kontorsrum A8 verkar inte heller användas under förmiddagarna, dock verkar det som att kontorsrummet används sent in på kvällstid i stället då koldioxidhalten ökar stadigt. Då ventilationen stängs av enligt ventilations-schemat klockan 18 kan det förklara den drastiska ökningen av koldioxidhalten för kontorsrum A8 under kvällen den 2 mars. Detta med förutsättningen att utökad dagdrift inte aktiverats. Genom dessa exempel är det tydligt att den modellerade närvaron är svår att förutse då brukarna inte beter sig på samma sätt varje dag. Ibland utförs kvällsarbete och ibland står rum tomma hela arbetsdagar. Det är sällan som kontorsarbetsplatser används konsekvent och likt under varje arbetsdag och timme, vilket kan kopplas till litteraturstudien i avsnitt 3.2.2.

En likhet mellan de beräknade och uppmätta värdena är att koldioxidhalter går ner för samtliga rum under lunchtid. En anledning kan vara att dörrarna in till de enskilda rummen lämnas öppna när rummen inte används under lunchtid vilket kan påverka rummens inomhusklimat. Huruvida dörrar är öppna eller stängda är svårt att förutspå och således dess inverkan på rummens inomhusklimat vilket kan kopplas till litteraturstudien i avsnitt 3.2.1. Till samma litteraturstudie kan även svårigheten i modellering av solavskärmning som mötesrum B6 är modellerat med kopplas. I de uppmätta värdena är det under 1 september upp emot 24,5 °C i detta rum, vilket är nästan 2 °C varmare än den beräknade rumstemperaturen under samma dag. Detta kan förklaras med att det finns solskydd i beräkningsmodellen men som kanske inte används i verkligheten under denna dag.

Skillnaderna mellan de beräknade och uppmätta värdena tyder på svårigheterna med att förutse och modellera närvaroschema för kontorsarbetsplatser. Då det är markant större koldioxidhalter för de beräknade värdena än de uppmätta kan det tolkas som att det är färre brukare i rummen i verkligheten än vad som modellerats. Denna tolkning kan förstärkas genom resultatet för uppvärmningsbehovet där den beräknade uppvärmningen är mindre än den uppmätta, vilket kan förklaras av den värme som brukarna avger som innebär att mindre uppvärmning behövs. Dessutom är kylbehovet större i modellen jämfört med i verkligheten, vilket även detta förstärker tolkningen om en högre brukarnärvaro i modellen. Dock beror rummens koldioxidhalter även på hur rummen ventileras vilket inte framgår i dessa resultat. Det kan vara så att gränsvärdena för ventilationen skiljer mellan de beräknade och de uppmätta rummen på grund av skillnader i driftinställningar. Dessa inställningar kan även justerats kontinuerligt i den verkliga byggnaden och därför skilja från hur byggnaden är modellerad. Inställningarna kan även skilja mellan de enskilda rummen på grund av önskemål från olika hyresgäster.

5.7 Rumstemperatur, enskilda rum

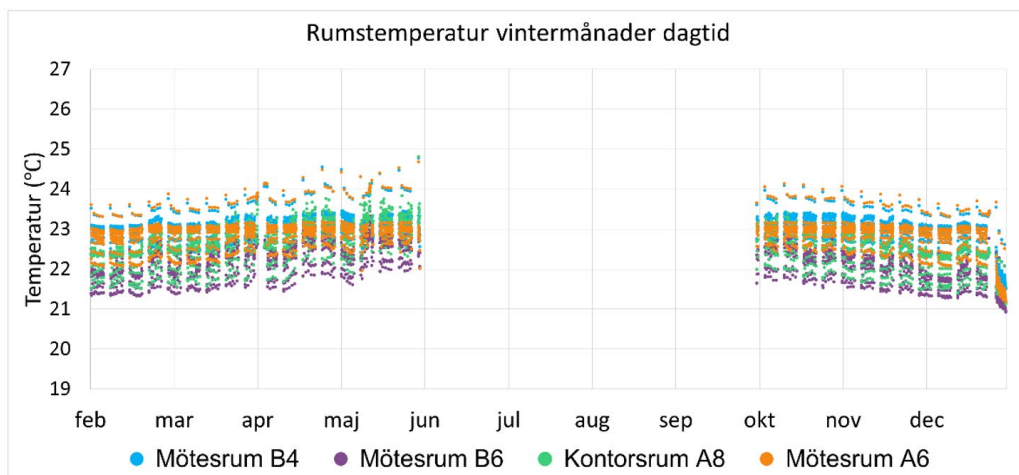
De enskilda rummen mötesrum A6, B4, B6 och kontorsrum A8 rumstemperatur studeras och dess beräknade och uppmätta rumstemperaturer under vintermånader och sommarmånader samt dagtid och nattetid presenteras nedan för att vidare jämföras och analyseras. Hela timklockslag (XX:00) motsvarar en färgprick i resultatdiagrammen och dessa studeras under vardagarna från februari till december. Dagtid innefattar de timmar som byggnaden antas brukas av personer och som ventilationen är aktiv, utökad dagdrift bortses ifrån. Sommartid och vintertid har tagits i beaktning vid hantering av mätdata. De fyra rummen skiljer som tidigare nämnts i utformning och användning, se tabell 24.

Tabell 24. Förtydligande tabell över tillgänglig information för de fyra enskilda rummen. Samma tabell som tidigare presenterats i rapporten.

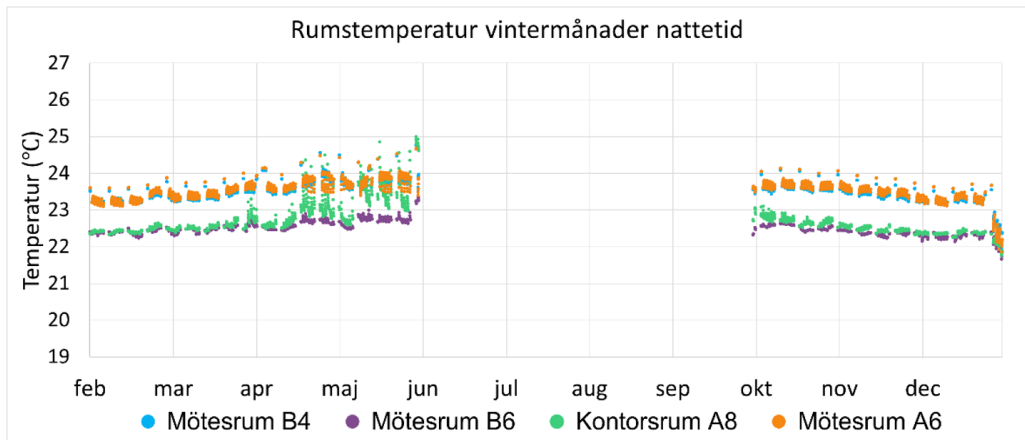
Rum	Mötesrum A6	Kontorsrum A8	Mötesrum B4	Mötesrum B6
Användning	Mötesrum	Kontorsrum	Mötesrum	Mötesrum
Dimensionerat antal personer	6	8	4	6
Våningsplan	3	5	3	6
Golvarea (m ²)	17	24	10	16
Antal väggar mot uteklimat	0	2	0	1
Tak mot uteklimat	Nej	Ja	Nej	Ja
Ventilationssystem	VAV	VAV	VAV	VAV
Dimensionerat maximalt tillufts- och frånluftsflöde (l/s,m ²)	Tilluft: 6,1 Frånluft: 0	Tilluft: 6,6 Frånluft: 0	Tilluft: 5,4 Frånluft: 0	Tilluft: 6,5 Frånluft: 3,6
Antal fönster, riktning	0	2, väst, 2, norr	1, ariet	2, syd
Solavskärmning	Nej	Nej	Nej	Ja, invändig gardin

5.7.1 Beräknade värden

De beräknade rumstemperaturerna för respektive rum under vintermånaderna och dagtid visas i figur 55 och för nattetid i figur 56. Figuren visar på att få rumstemperaturer ligger under 22 °C under vintermånaderna dock är det mindre spridning på värdena under nattetid jämfört med dagtid. Mötesrum B6 har lägre rumstemperatur än de andra rummen under dagtid medan även kontorsrum A8 ligger lägre under nattetid precis som mötesrum B6 gör.

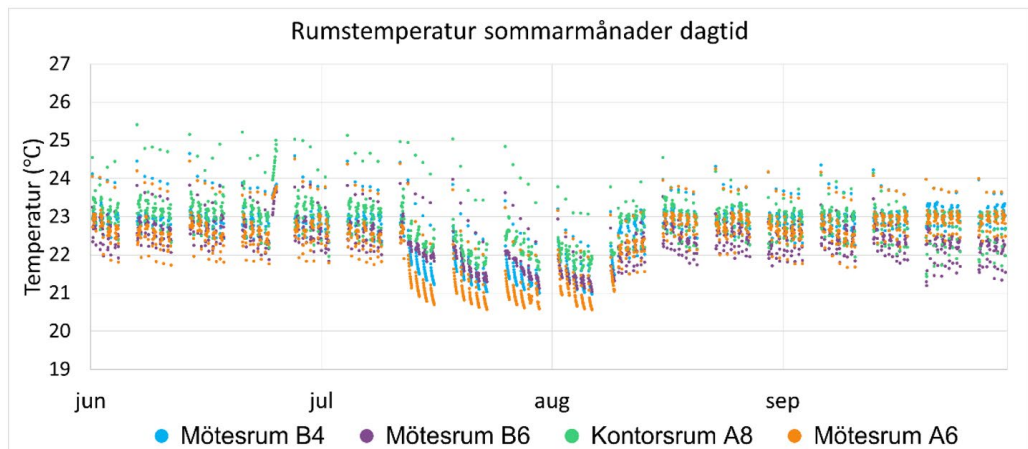


Figur 55. Rumstemperaturer för vintermånader under dagtid på månadsbasis. En punkt i diagrammet motsvarar rumstemperaturen vid hela timklockslag (XX:00).

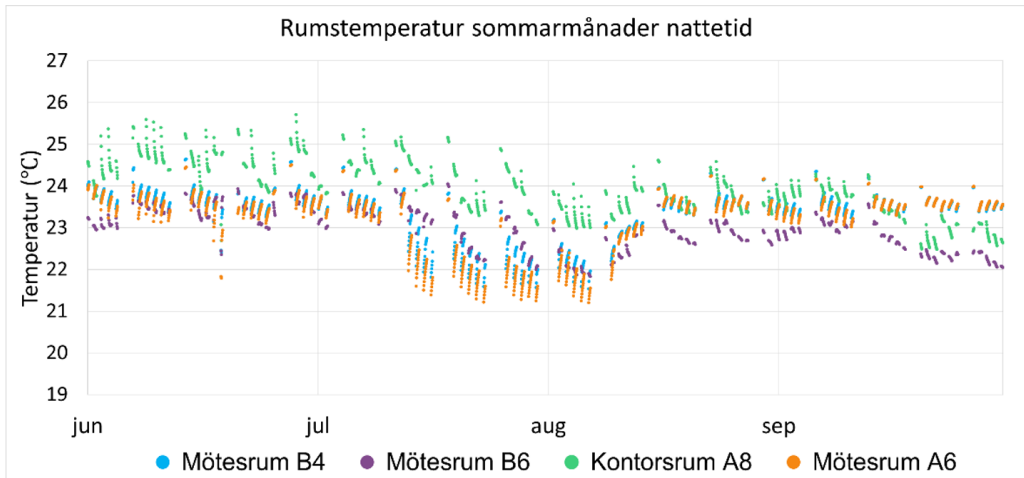


Figur 56. Rumstemperaturer för vintermånader under nattetid på månadsbasis. En punkt i diagrammet motsvarar rumstemperaturen vid hela timklockslag (XX:00).

De beräknade rumstemperaturerna för respektive rum på dagtid under sommar-månaderna visas i figur 57 och för nattetid i figur 58. Figurerna visar på att många rumstemperaturvärden för rummen ligger mellan 22 °C och 23 °C och att kontorsrum A8 ligger högst av rummen under dagtid. Under nattetid visar figurerna på att kontorsrum A8 har rumstemperaturer över 23,5 °C för många värden och att mötesrum A6 och B4 ligger mellan 23 och 24 °C. Under de modellerade semesterveckorna i juli och augusti går rumstemperaturerna ner runt 1 till 2 °C för samtliga fyra rum under både dagtid och nattetid.



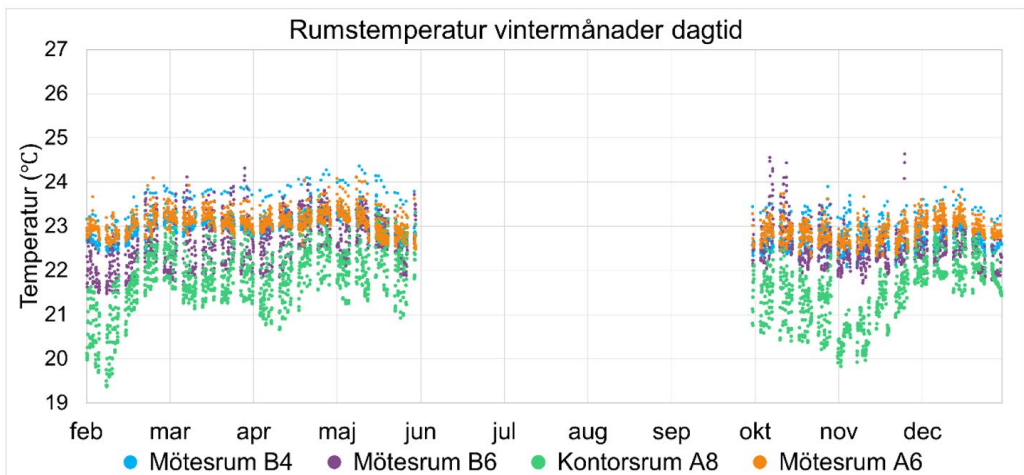
Figur 57. Rumstemperaturer för sommarmånader under dagtid på månadsbasis. En punkt i diagrammet motsvarar rumstemperaturen vid hela timklockslag (XX:00).



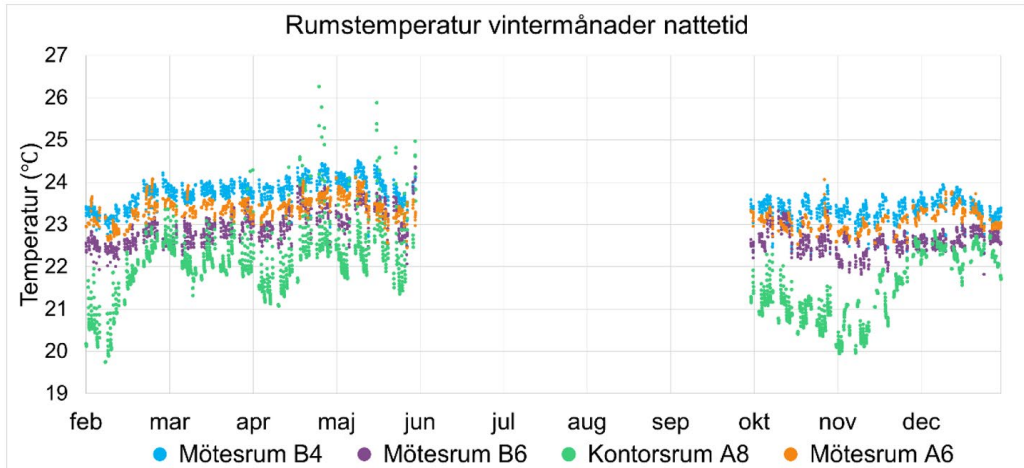
Figur 58. Rumstemperaturer för sommarmånader under nattetid på månadsbasis. En punkt i diagrammet motsvarar rumstemperaturen vid hela timklockslag (XX:00).

5.7.2 Uppmätta värden

De uppmätta rumstemperaturerna för respektive rum under vintermånaderna och dagtid visas i figur 59 och för nattetid i figur 60. Figurerna visar på att många rumstemperaturer för mötesrum A6, B4 och B6 ligger högre än 22 °C under dagtid, vilket också är börvärdet för inomhustemperaturen under vintermånaderna. Under nattetid visar resultatet att flertalet rumstemperaturer för mötesrum A6 och B4 ligger högre än 23 °C och att mötesrum B6 ligger mellan 22 och 23 °C. Kontorsrum A8 med störst andel ytor mot uteklimatet är svalare och har större spridning på uppmätta temperaturer, något som ses både under dagtid och nattetid. Flertalet värden för kontorsrum A8 är dessutom under 22 °C.

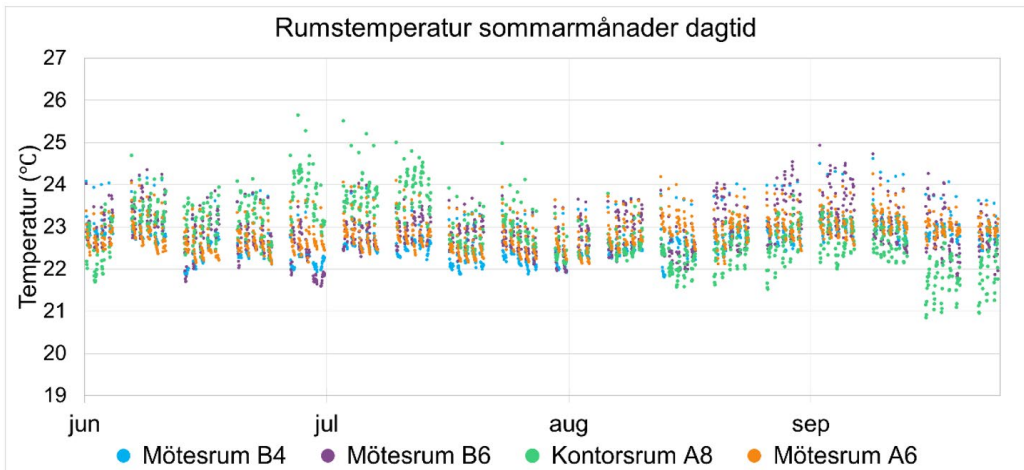


Figur 59. Rumstemperaturer för vintermånader under dagtid på månadsbasis. En punkt i diagrammet motsvarar rumstemperaturen vid hela timklockslag (XX:00).

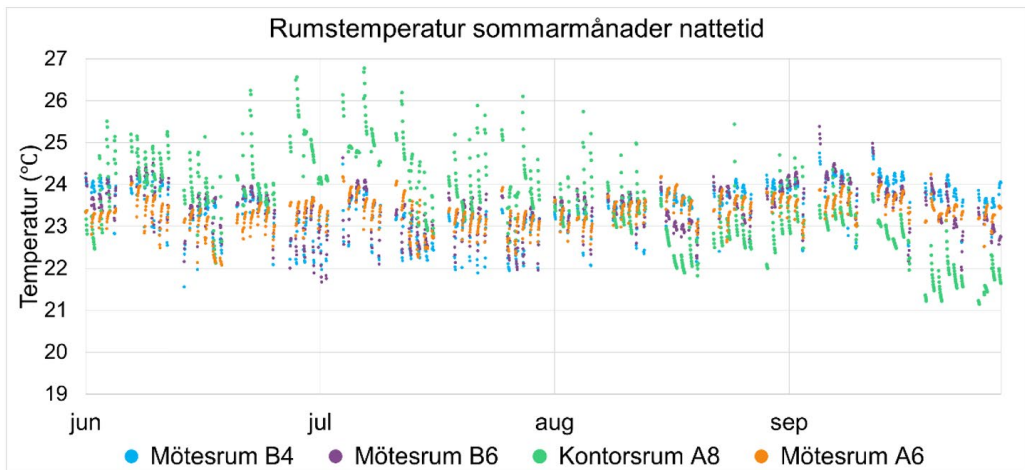


Figur 60. Rumstemperaturer för vintermånader under nattetid på månadsbasis. En punkt i diagrammet motsvarar rumstemperaturen vid hela timklockslag (XX:00).

De uppmätta rumstemperaturerna för respektive rum under sommarmånaderna och dagtid visas i figur 61 och för nattetid i figur 62. Dessa figurer visar att många rumstemperaturer ligger runt 23 °C under dagtid för samtliga fyra rum, vilket också är börvärdet för inomhustemperaturen under sommarmånaderna. Många av punkterna ligger till och med högre än 23 °C. Under nattetid visar figur 62 på en temperaturspridning uppemot 2,5 °C för mötesrum B4, B6 och A6 och med en ännu större spridning för kontorsrum A8 där temperaturen ligger mellan ungefär 21 och 27 °C.



Figur 61. Rumstemperaturer för sommarmånader under dagtid på månadsbasis. En punkt i diagrammet motsvarar rumstemperaturen vid hela timklockslag (XX:00).



Figur 62. Rumstemperaturer för sommarmånader under nattetid på månadsbasis. En punkt i diagrammet motsvarar rumstemperaturen vid hela timklockslag (XX:00).

5.7.3 Jämförelse och analys

För de beräknade värdena är det generellt större spridning för rumstemperaturerna under sommarmånaderna än under vintermånaderna. Under sommarmånader och nattetid är det kontorsrum A8 som utmärker sig med störst spridning och varmest rum, se figur 58.

För de uppmätta värdena är det under dagtid generellt större spridning i rumstemperaturerna för mötesrum B6 och kontorsrum A8 under både sommar- och vintermånaderna jämfört med de andra rummen, se figur 59 och figur 61. Dessutom ligger kontorsrum A8 tydligt lägre i rumstemperatur under vintermånaderna och med störst spridning under sommarmånaderna för de uppmätta värdena. Dessa resultat kan som tidigare nämnts förklaras med att rummet har störst andel ytor mot uteklimatet.

Det är tydligt i figur 57 och figur 58 att rumstemperaturerna under sommarmånaderna för de beräknade värdena går ner stabilt, nästan 2 °C, för samtliga rum under de modellerade fyra semesterveckorna. I de uppmätta värdena kan samma tendens till lägre rumstemperaturer under semesterveckorna ses i resultatet under dagtid, se figur 61 men inte under nattetid som i de beräknade. Dock är rumstemperaturminskningen under semesterveckorna för de uppmätta värdena inte lika markanta som de är för de beräknade värdena. Den rumstemperaturminskning som påvisas i de beräknade värdena under semesterveckorna kan tolkas som att den motsvarar den överskottsvärme som avges från personer, utrustning och belysning. Då det inte kan ses en lika markant minskning i de uppmätta värdena kan det förklaras av att det troligtvis är lägre närvaro i verkligheten och därför ses det ingen lika tydlig minskning när personer antas gå på semester. Av resultatet kan det tydas att brukaranvändningen verkar vara en påverkande faktor för inomhustemperaturen vilket också kan återkopplas till litteraturstudien under avsnitt 3.1.3. Simanic menar i sin studie att inomhustemperaturen är starkt beroende av brukarrelaterade parametrar och som vidare påverkar energianvändningen, något som även detta resultats skillnader visar på.

Flera brukarfaktorer så som öppna dörrar till enskilda rum, huruvida gardiner är neddragna eller inte och hur rummen brukas samt av hur många påverkar rumstemperaturerna. Vidare påverkar brukarfaktorerna energianvändning genom hur mycket uppvärmning eller komfortkyla som behövs i respektive rum. Dessa resultat och analyser kan återkopplas till litteraturstudierna under avsnitt 3.2.1, 3.2.2 och 3.2.3.

Som tidigare nämnts kan en anledning till skillnader i rumstemperaturer även bero på regler- och driftinställningar. Dessa inställningar kan skilja i både mellan den modellerade och den verkliga byggnaden men också mellan rummen sinsemellan. Som tidigare nämnts i rapporten borde inte spridningen vara så markant mellan rummen då detta borde regleras av värme- och kylsystemet i respektive rum för att rummen ska hålla de börvärden som byggnaden är projekterad för. Under sommarmånaderna ses som nämnt en markant sänkning av inomhustemperaturerna i de beräknade värdena men inte i de uppmätta. Detta kan förklaras av en styr- och driftinställning som är modellerad annorlunda mot den verkliga byggnaden. De låga rumstemperaturerna under semesterveckorna i de beräknade värdena kan innebära att kylan i modellen inte kyler tillräckligt det andra dagarna när byggnaden har modellerad personnärvaro.

Hur rumstemperaturerna påverkas av värmebalansens poster och i vilken grad är svårt att säga. Generellt ligger de beräknade och uppmätta rumstemperaturerna ganska likt vilket gör det svårt att jämföra rumstemperatur mot resultatet för den totala energianvändningen för uppvärmning och komfortkyla. I resultatdiagrammen för de uppmätta rumstemperaturerna i figur 59 är det dock tydligt att rummen under vintermånaderna är varma då de flesta värdena för samtliga rum, förutom kontorsrum A8, ligger över 22 °C. Även under sommarmånaderna ligger många rumstemperaturer över börvärdet på 23 °C. Rumstemperaturerna är högre än byggnadens projekterade börvärde och börvärdet i sig är ytterligare 1 °C högre än Svebys börvärde under uppvärmningssäsong. Även majoriteten av de beräknade värdena ligger över börvärdena för både sommar- och vintermånaderna. Under nattetid ligger rumstemperaturerna generellt ännu högre än under dagtid för både de beräknade och de uppmätta värdena, vilket kan förklaras med att en svalare tilluft ventilerar rummen under dagtid. För höga rumstemperaturer kan bero på för hög radiator effekt. Genom att sänka denna kan rumstemperaturen sänkas samtidigt som energianvändningen för uppvärmning minskas.

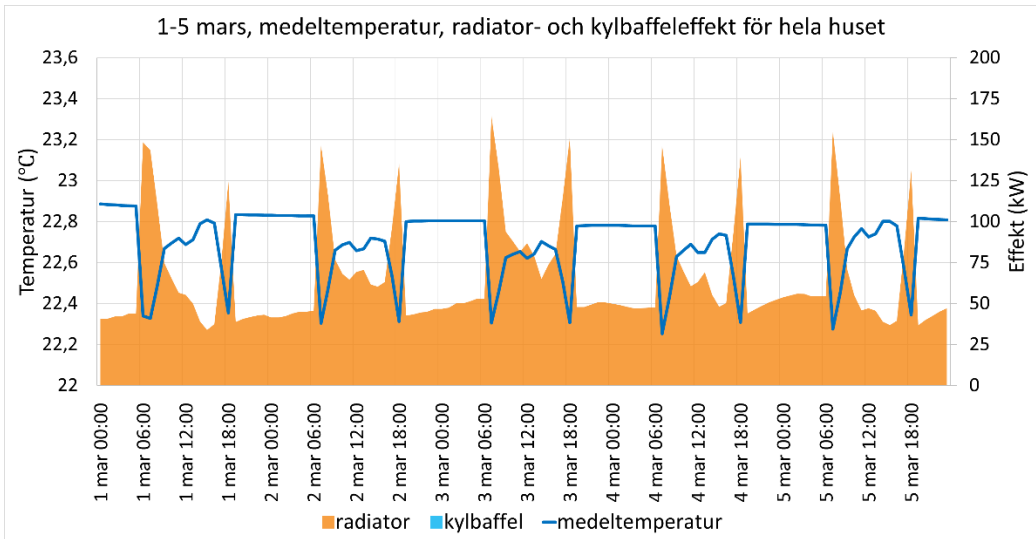
5.8 Inomhustemperatur, radiator- och kylbaffleffekt

Medeltemperaturen för hus A och B sammanställs tillsammans med husens radiator- och kylbaffleffekter i diagram under fyra veckor av året. De beräknade och de uppmätta värdena presenteras nedan var för sig för att sedan jämföras och analyseras.

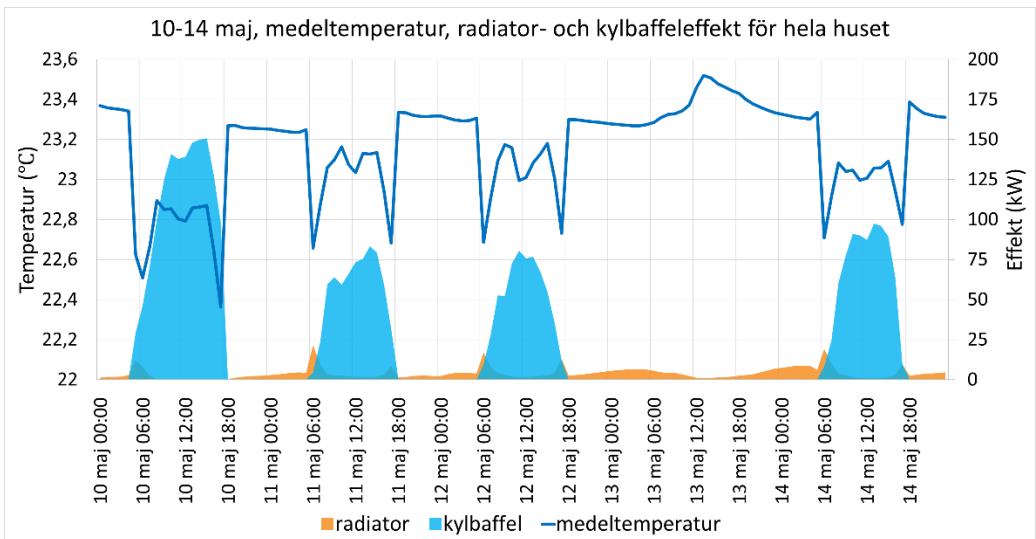
5.8.1 Beräknade värden

Den beräknade medeltemperaturen för hus A och B, den totala radiator- och kylbaffleffekten för 1–5 mars visas i figur 63 och för 10–14 maj i figur 64, 30 augusti- 3 september i figur 65 och 6–10 december i figur 66, där y-axlarna är i samma skala i samtliga fyra diagram. I figurerna visas det att medelrumstemperaturen i byggnaden under de fyra studerade veckorna inte går ner under 22 °C.

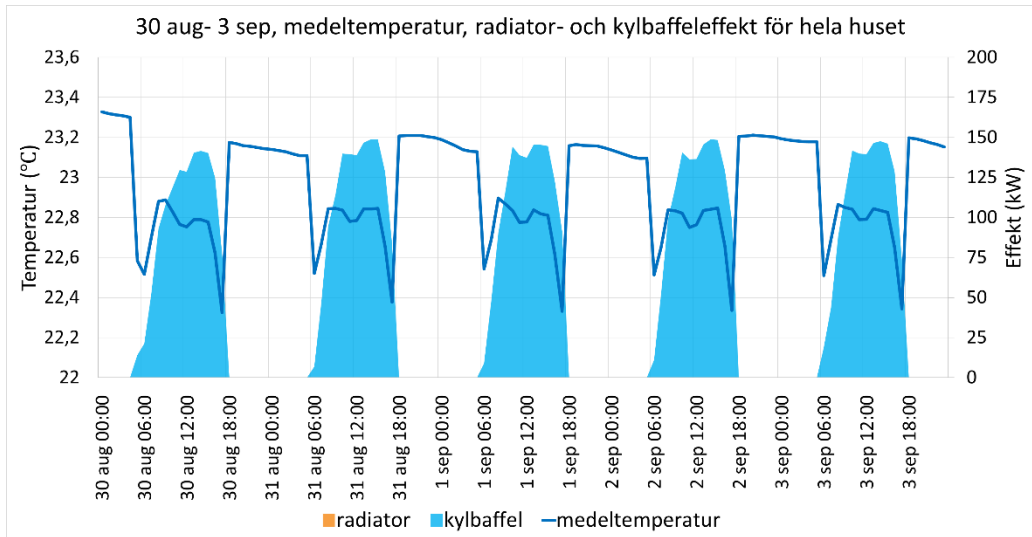
Energianvändning i kontor



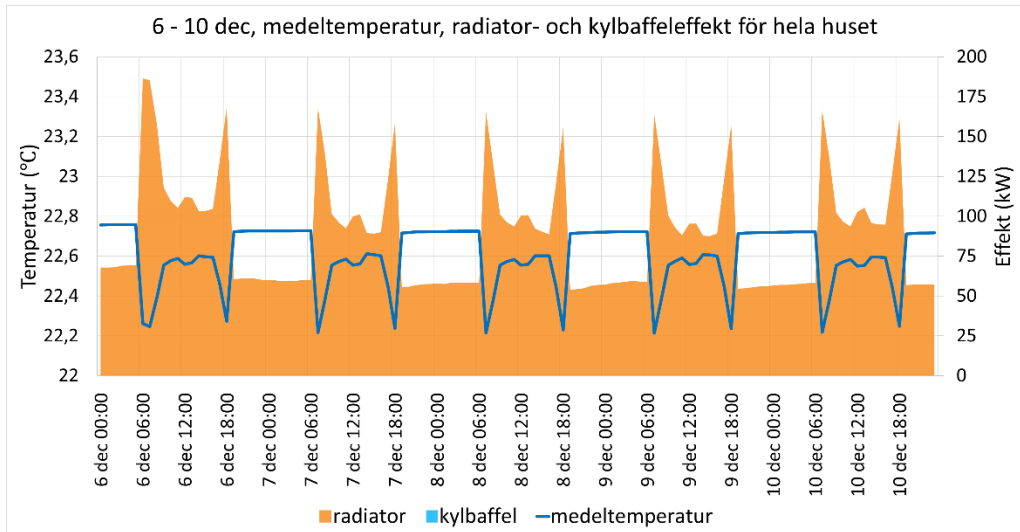
Figur 63. Diagram för beräknad radiatoreffekt, kylbaffleffekt och medeltemperatur under 1–5 mars.



Figur 64. Diagram för beräknad radiatoreffekt, kylbaffleffekt och medeltemperatur under 10–14 maj.



Figur 65. Diagram för beräknad radiatoreffekt, kylbaffleffekt och medeltemperatur under 30 augusti –1 september.

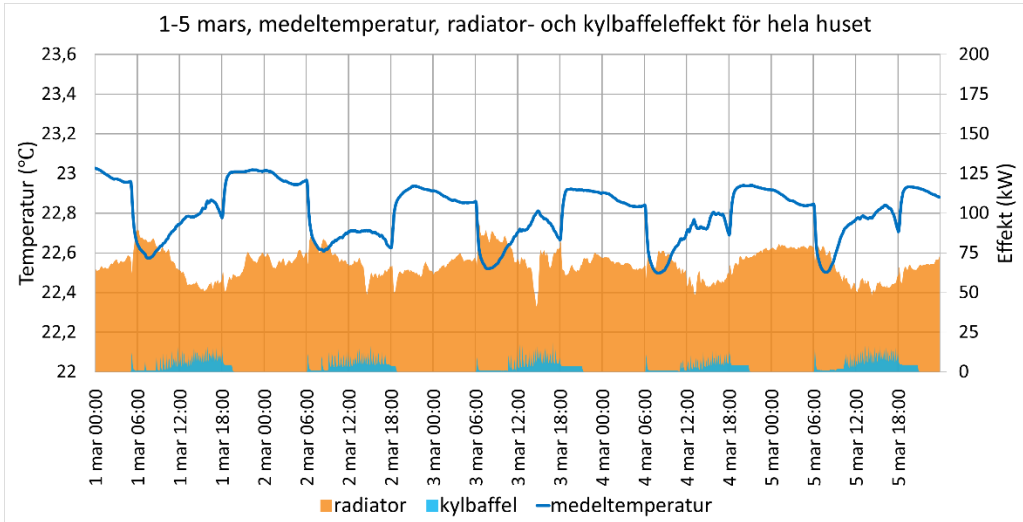


Figur 66. Diagram för beräknad radiatoreffekt, kylbaffleffekt och medeltemperatur under 6–10 december.

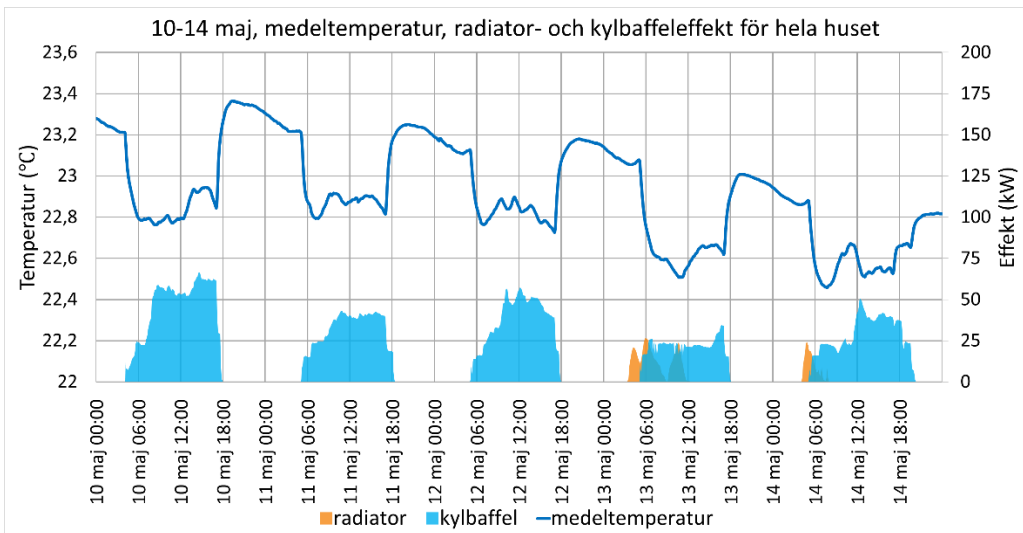
5.8.2 Uppmätta värden

Den uppmätta medeltemperaturen för hus A och B, den totala radiatoreffekt och kylbaffleffekten för 1–5 mars visas i figur 67 och för 10–14 maj i figur 68, 30 augusti- 3 september i figur 69 och 6–10 december i figur 70, där y-axlarna är i samma skala i samtliga fyra diagram och i samma skala som för de beräknade värdena ovan. Även i

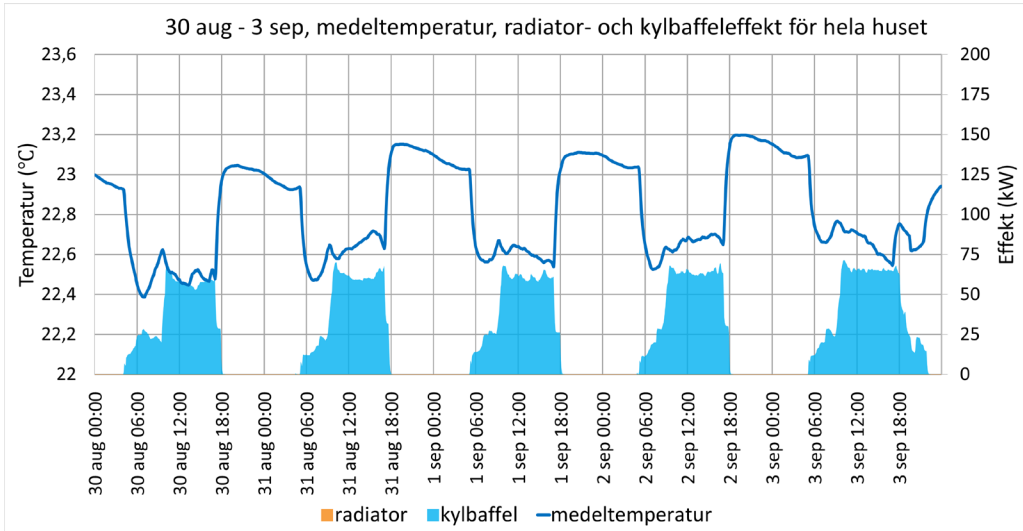
dessa figurer visas det att medelrumstemperaturen i byggnaden under de fyra studerade veckorna inte går ner under 22 °C.



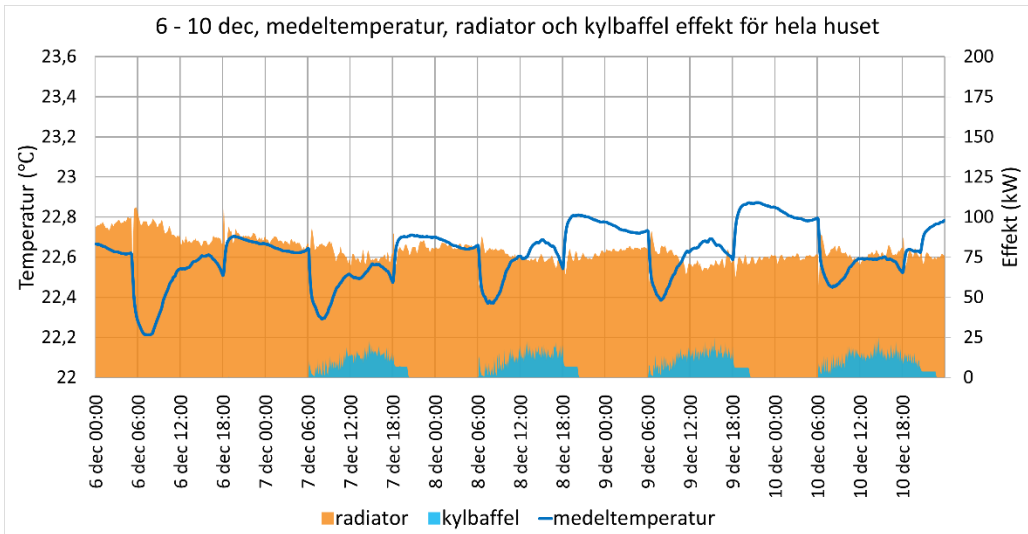
Figur 67. Diagram för uppmätt radiatoreffekt, kylbaffeleffekt och medeltemperatur under 1–5 mars.



Figur 68. Diagram för uppmätt radiatoreffekt, kylbaffeleffekt och medeltemperatur under 10–14 maj.



Figur 69. Diagram för uppmätt radiator effekt, kylbaffleffekt och medeltemperatur under 30 augusti –3 september.



Figur 70. Diagram för uppmätt radiator effekt, kylbaffleffekt och medeltemperatur under 6–10 december.

5.8.3 Jämförelse och analys

Medeltemperaturerna för de beräknade värdena går markant ner när ventilationen startar på morgonen och markant upp igen när den stängs av vilket kan ses i samtliga figurer i avsnitt 5.8.1. Under lunchtid sänks medeltemperaturen i byggnaden jämfört med förmiddags- och eftermiddagstemperaturen för de beräknade värdena. Detta kan förklaras med det modellerade närvaroschemat som innebär att kontorsutrymmen och

mötesrum töms under lunchtimmen och samlings- och loungeområdena används i stället, dock med färre brukare än i kontorsutrymmen och mötesrum. Alltså minskar det totala personantalet i modellen under lunchtimmen. Radiatoreffekten höjs något under lunchtimmen för att motsvara den överskottsvärme som annars är i kontorsytorna och mötesrummen under vintermånaderna medan kylbaffleffekten minskar under lunchtimmen under sommarmånaderna.

I de uppmätta värdena visas samma tendenser under morgon och kväll i medeltemperaturerna som för de beräknade värdena. Temperaturerna sjunker när ventilationen startar på tidig morgon och inga personer har börjat jobba. På liknande vis ses samma temperaturminskning på kvällen när personerna gått hem och ventilationen fortfarande går. Det finns även tendenser till radiatoreffekttoppar under morgonen när medeltemperaturen sjunker drastiskt inomhus på grund av den undertemperade tilluften.

Under mars och decemberveckorna i de beräknade värdena är kylbaffleffekten 0 kW medan det i de uppmätta värdena finns en liten kyleffekt i byggnaden under samma period. Att det avges kyla från kylbafflarna samtidigt som det är uppvärmningssäsong och radiatoreffekten är stor kan förklaras genom att det i något enskilt rum behövs kyla. Till exempel kan restaurangen eller caféet på plan 1 vara i behov av mer kyla på grund av dess köksutrustning och personbelastning. Dessutom kan det förekomma större konferenser i mötesrummen som leder till att lokal kyla behövs i dessa rum. Atriet kan också vara en anledning till ett kylbehov trots uppvärmningssäsong. Eftersom hela byggnadens totala värden studeras och inte enskilda rums värden blir det svårt att utifrån resultaten veta var kyleffekten används i huset och i vilken mängd. Dessutom kan det bero på driftinställningar som eventuellt skiljer mellan den modellerade och verkliga byggnaden.

Under nätterna i majveckan, se figur 64, visar de beräknade värdena på liten radiator-effekt i byggnaden, något som skiljer från de uppmätta värdena, se figur 68. Kanske kan det förklaras av att utomhustemperaturerna i klimatfilen som används vid modellering skiljer från de uppmätta utomhustemperaturerna på Epic, vilket kan ses under avsnitt 5.11 och i figur 78. Även skillnader i det modellerade och verkliga klimatskalet kan vara en förklaring till denna skillnad, eller skillnader i driftinställningar.

Under mars- och decemberdagarna under dagtid när ventilationen alltid är schemalagd i drift visar resultatet på att medeltemperaturen sällan är under 22,5 °C för både de beräknade och uppmätta värdena. Byggnadens inomhustemperatur under vintermånaderna är projekterat till 22 °C vilket alltså överskrids. Detta kan anses tyda på att det är en varm byggnad, varmare än vad den behöver vara. Trots hög inomhustemperatur tillförs värme från radiatorerna vilket kan ses på den orangea färgen i diagrammen ovan. Gränsvärdet för när ventilationen ska börja forcera är vid 22 °C och då inomhustemperaturen är så pass hög nås ventilationens gränsvärde ofta vilket innebär att undertempererad tilluft forceras i de rummen med variabelt flödessystem. Dock består byggnaden främst av ett konstant flödessystem vilket innebär att ventilationen under drifttid förser större delar av byggnaden med ett konstant undertempererat tilluftsflöde. Den undertempererade tilluften är någon grad under 22 °C, vilket den också ska vara för att ge en god omblandning av inomhusluften men samtidigt sänker tilluften också inomhustemperaturen,

vilket radiatorerna kompenserar för. Detta kan förklara varför radiatorerna värmer trots redan hög inomhustemperatur.

Resultatdiagrammen kan anses tyda på att radiator effekterna på nätterna är för höga då byggnaden är varmare på natten, upp emot 23 °C, än på dagen och denna nattvärme behöver sedan ventileras bort under morgontimmarna. Detta kan tolkas som att radiator effekterna fortsätter att kompensera för den undertempererade tilluft som förser byggnaden under dagtid. Dessutom kan det anses att byggnaden blir onödigt varm under natten och timmarna som kontoren ändå inte används. Den termiska massan i byggnaden kan under nätterna kanske lyckas behålla den överskottsvärme som bildats under dagen och på så vis kan radiator effekterna minska under natten och då även energianvändningen. Denna analys kan återkopplas till litteraturstudien under avsnitt 3.1.2. På sommar dagarna går inomhustemperaturerna också upp under nätterna men det beror på uteklimatets varmare temperaturer och att överskottsvärmen som bildats under dagen inte längre ventileras bort och kyls av tilluften. Dock motverkar utökad dagdrift en alldeles för varm byggnad utanför ventilationens vanliga drifttid för att hålla byggnadens inomhustemperatur på en behaglig nivå.

Under timmarna utanför ventilationens schemalagda drifttid minskar de beräknade radiator effekterna medan de uppmätta effekterna ligger kvar på samma nivå. Då den uppmätta radiator effekten under timmarna utanför schemalagd drifttid ligger runt 50 % högre än den beräknade kan det förklara varför den uppmätta totala energianvändningen för uppvärmning ligger högre på månadsbasis än för de beräknade värdena. I den totala uppvärmningen tas samtliga värden med, inklusive nätter och helger, och ligger då radiator effekterna markant högre för de uppmätta värdena utanför den schemalagda drifttiden kan det förklara varför den uppmätta uppvärmningen är större än den beräknade trots den höga beräknade radiator effekten under dagtid.

De beräknade värdena visar på att kylbaffeffekten är runt 50 % högre än de uppmätta under de två varmare veckorna. En anledning till denna skillnad kan vara att atriets är medräknat i de beräknade värdena och inte endast hus A och hus B som i de uppmätta. Hur stor påverkan atriets har på värdena är svårt att säga men troligtvis borde det bidra till en större kylbaffeffekt under sommarveckorna för de uppmätta värdena om atriets tas i beaktning. Detta på grund av de stora fönsterpartier som finns längs väggarna och i taket. Skillnader i modellens styr- och driftinställningar jämfört med den verkliga byggnaden kan också vara en anledning. Ytterligare en förklaring till de högre beräknade kylbaffeffekterna kan vara att personnärvaron antas vara högre i modellen än i verkligheten. Denna förklaring stämmer även överens med tidigare resultat gällande den totala energianvändningen för byggnadens komfortkyla som är högre för de beräknade värdena än för de uppmätta. Dock kan det argumenteras för att kylbaffeffekten i den verkliga byggnaden under veckan 30 augusti-3 september är högre än vad den behöver vara då medeltumstemperaturen ligger markant under 23 °C som är börvärdet under sommar-månaderna.

Den 13 maj 2021 inföll Kristi himmelsfärds dag vilket är en helgdag i svensk kalender och är då modellerat som en ledig dag. Därför är ventilationen avstängd i byggnaden och kylbaffeffekten under dagen är 0 kW för de beräknade värdena, se figur 64. Dock kan

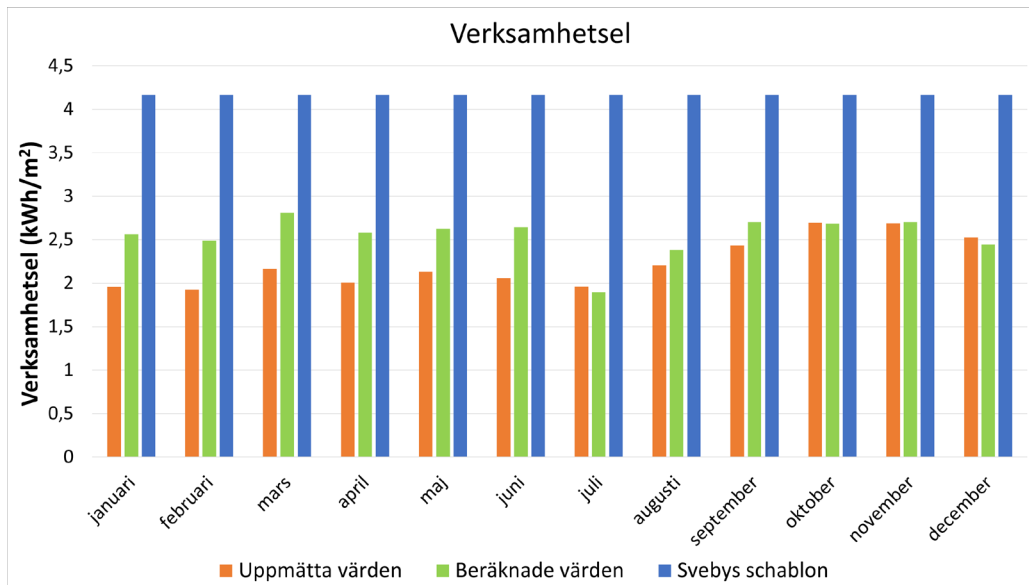
ventilationen vara aktiv på grund av utökad dagdrift. För de uppmätta värdena är medeltemperaturen i byggnaden lägre under 13 maj jämfört med dagarna innan, se figur 68. Det finns en viss kylbaffleffekt i byggnaden men det kan som tidigare nämnt vara till café och restaurang på plan 1 som trots helgdag kan vara öppna. Att medeltemperaturen under dagen den 13 maj är lägre än tidigare dagar kan förklaras med att då det är färre personer i byggnaden bildas mindre överskottsvärme. Även den 14 maj har lägre medeltemperatur i de uppmätta värdena än i de beräknade vilket kan förklaras med att det är en klämdag och troligtvis låg brukarnärvaro i den verkliga byggnaden. Detta är tendenser som inte syns i de beräknade värdena. Dessa dagar tyder på svårigheter med att förutse brukarnärvaro och vilken påverkan den har på inomhustemperaturen och i sin tur radiator- och kylbaffleffekt. Även skillnader i styr- och reglerinställningar ses tydligt den 13 maj, då den modellerade byggnadens kylbaffleffekt stängs av men i den verkliga byggnaden fortfarande är i drift.

5.9 Verksamhetsel

All utrustning och belysning som inte tjänar de allmänna utrymmena i kontorsbyggnaden mäts under posten verksamhetsel. Svebys årsschablonvärde för verksamhetsel är $50 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ men denna används inte vid modellering. Vid jämförelser mot Svebys schablon nedan fördelas den jämnt över årets månader.

5.9.1 Beräknade och uppmätta värden

De uppmätta och beräknade värdena för användning av verksamhetsel visas i figur 71.



Figur 71. Uppmätt och beräknad verksamhetsel jämförs mot varandra och Svebys schablon.

Summering av månadsvärdena till årsvärden ger resultat enligt tabell 25.

Tabell 25. Sammanställning av årsanvändningen för uppmätta och beräknade värden samt Svebys schablon.

	Arsanvändning [kWh/m ² A _{temp}]
Uppmätt	26,8
Beräknad	30,5
Sveby	50

5.9.2 Jämförelse och analys

Vid jämförelse av resultaten ovan är det noterbart att den beräknade verksamhetsanvändningen på årsbasis är nästan 12 % högre än den uppmätta. Om däremot användningen betraktas per månad kan det ses att de beräknade värdena främst avviker från de uppmätta under vårmånaderna för att sedan stämma relativt väl överens med de uppmätta värdena under höstmånaderna. Det skulle kunna förklaras med pandemirestriktioner och större andel hemarbete under våren 2021. Att användningen, och således också internlasterna, är överskattade i modellen under våren innebär att energin till uppvärmning kan vara underskattad under denna period. Användningen av verksamhetsel kan alltså vara en ledtråd till att förstå hur användningen av byggnaden varierat under 2021. Dock finns det många faktorer som gör att brukarbeteende är svårt att modellera och därför är det inte givet att pandemirestriktioner är hela sanningen bakom resultatet. Svårigheterna med att modellera mänskligt beteende är något som tas upp i flera av de studier som nämns i litteraturstudien, exempelvis den i avsnitt 3.2.3. Det är också intressant att notera att Svebys schablon för verksamhetsel ligger avsevärt mycket högre än både de beräknade och uppmätta värdena. Huruvida schablonen ligger högt för kontorsbyggnaden generellt eller endast för kontorsbyggnaden i denna fallstudie går inte att säga.

5.10 Tappvarmvatten

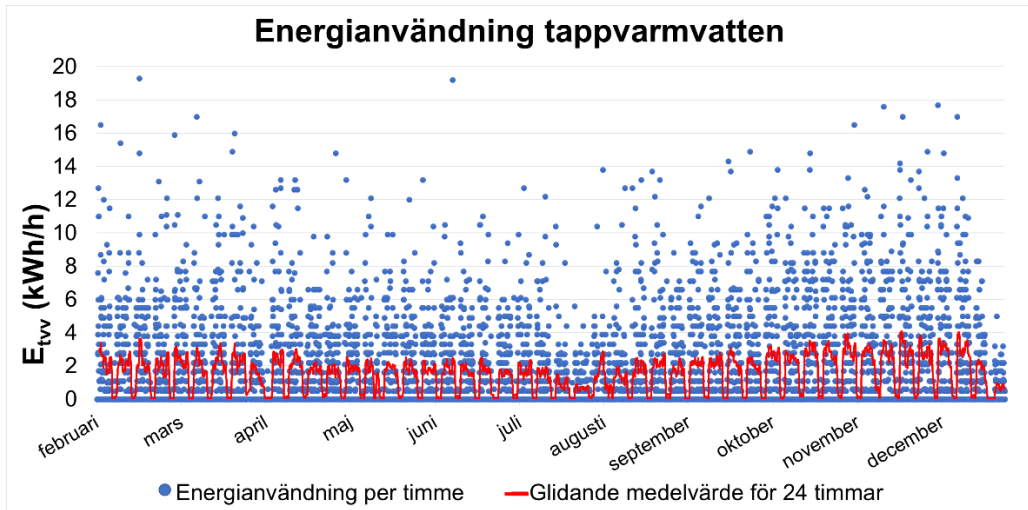
Tappvarmvattnet i Epic värms via fjärrvärme och användningen mäts av en egen mätare utan VVC-förluster. Användningen styrs av brukarna och deras beteende i byggnaden och resultatet av mätningarna och jämförelser mot schablonvärde redovisas nedan.

5.10.1 Schablonvärde

Den energi som krävs för uppvärmning av tappvarmvatten modelleras inte i IDA ICE. I stället används årsschablonvärdet 2 kWh/m²A_{temp}, som finns angett i både BEN och Sveby, vid jämförelser nedan. Värdet inkluderar inte VVC-förluster och är jämnt fördelat över årets månader. Det definieras inte heller hur schablonen fördelar sig över dygnets timmar varför det vidare antas att den fördelas jämnt även över dygnet.

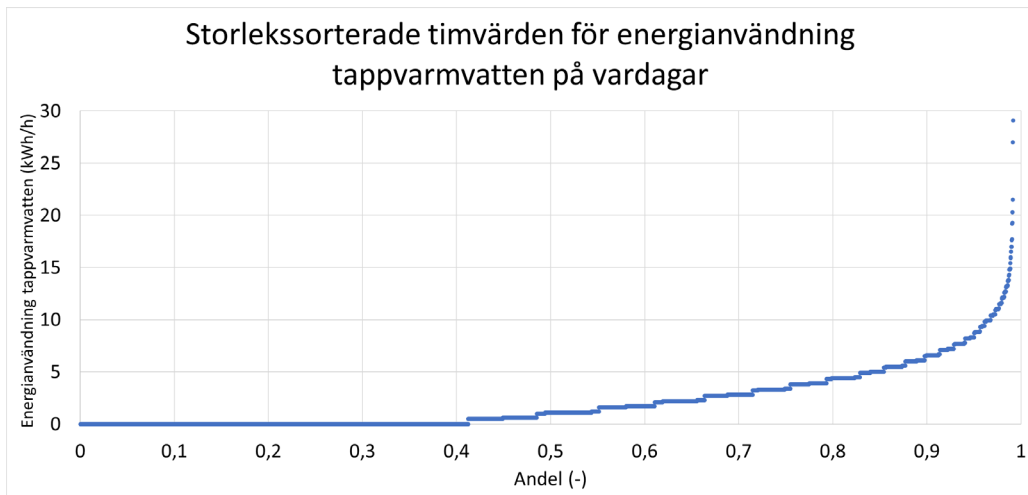
5.10.2 Uppmätta värden

De uppmätta värdena avser energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten utan hänsyn till VVC-förluster och visas i figur 72.



Figur 72. Energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten under alla timmar som det finns mätvärden för.

När timvärdena i stället storleksorteras och endast innefattar uppmätta värden för vardagar ser användningen ut enligt figur 73. Både mätvärden från dagtid och nattetid inkluderas.

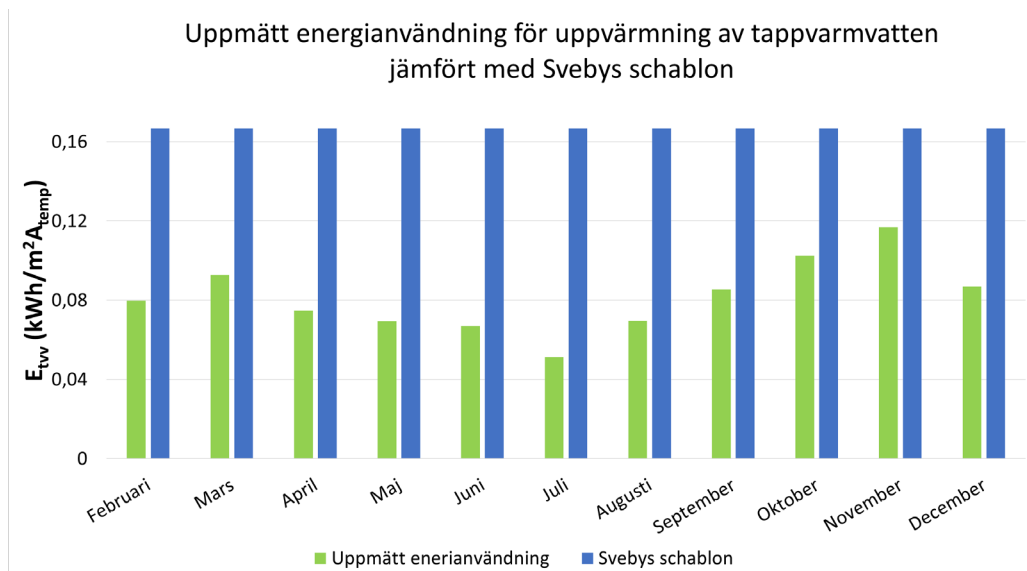


Figur 73. Storleksorterade timvärden av uppmätt energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten under vardagar.

5.10.3 Jämförelse och analys

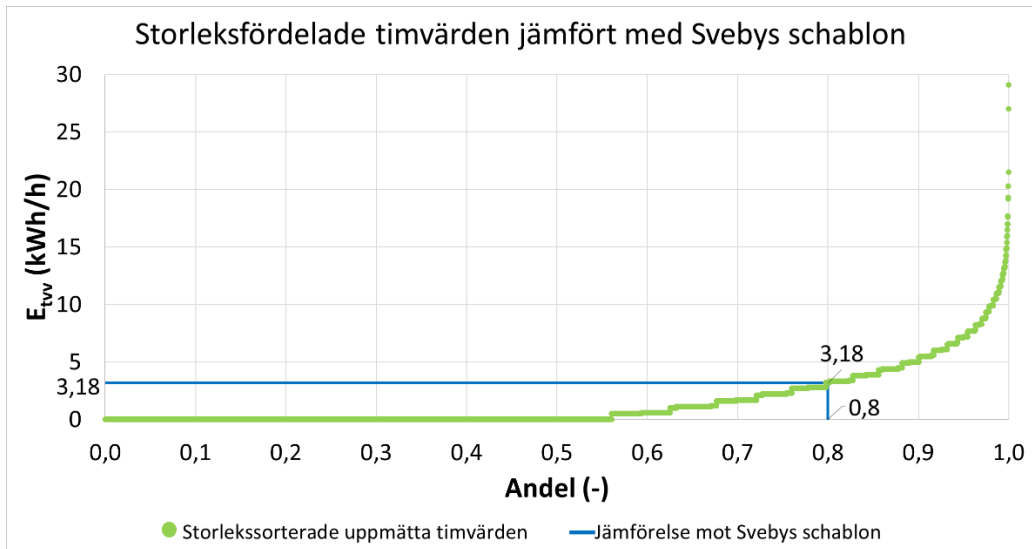
Uppmätt energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten jämförs med Svebys schablon i figur 74. Värt att notera är att användningen i verkligheten ligger markant

under Svebys schablonvärde för alla månader. Dessutom varierar den verkliga användningen över året vilket schablonen inte tar hänsyn till. Anledningarna till att den uppmätta användningen är lägre än den schablonmässiga kan vara många varav en skulle kunna vara att många kontorsarbetande arbetade hemifrån under 2021. Något som tyder på detta är att användningen generellt är högre under hösten då restriktionerna inte var lika hårda. Att andelen hemarbete ökade igen under december kan vara en förklaring till att användningen minskar jämfört med november. Minskningen i december kan också bero på fler antal lediga dagar än i november. Dock behöver inte pandemin vara hela förklaringen till den totalt låga energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten. Epic är exempelvis utrustat med snålspolande armaturer som kan vara en förklaring till den låga användningen i förhållande till schablonvärdet. Utöver det kan brukarbeteendet i just denna byggnad avvika från schablonen och leda till en väldigt låg användning.



Figur 74. Uppmått energianvändning per kvadratmeter A_{temp} jämförs med Svebys schablon per månad. Schablonen delas på årets månader till värdet $0,167 \text{ kWh}/(\text{m}^2 A_{temp} \text{ månad})$.

När Svebys schablon multipliceras med aktuell A_{temp} och slås ut som timvärde kan den jämföras med uppmätta storleksorterade data enligt figur 75. Att 80 % av de uppmätta värdena understiger schablonen är ytterligare ett sätt att visa på den låga energianvändningen för tappvarmvattenuppvärmning i Epic. Vid jämförelse i figur 75 inkluderas dock alla timvärden under året, även de då personärvaron bör vara låg, som exempelvis under nätter och helger. Dock utgör inte dessa timmar 80 % av året och jämförelsen visar alltså ändå på en låg användning även under de timmar då kontorsbyggnaden Epic används. Dock definieras det aldrig av vare sig Boverket eller Sveby om årsschablonen fördelar sig olika på dagtid jämfört med nätter och helger varför alla timvärden inkluderas i jämförelsen nedan.



Figur 75. När de storlekssorterade uppmätta timvärdena jämförs med Svebys schablon visar det sig att 80 % av de uppmätta timvärdena ligger under schablonvärdet.

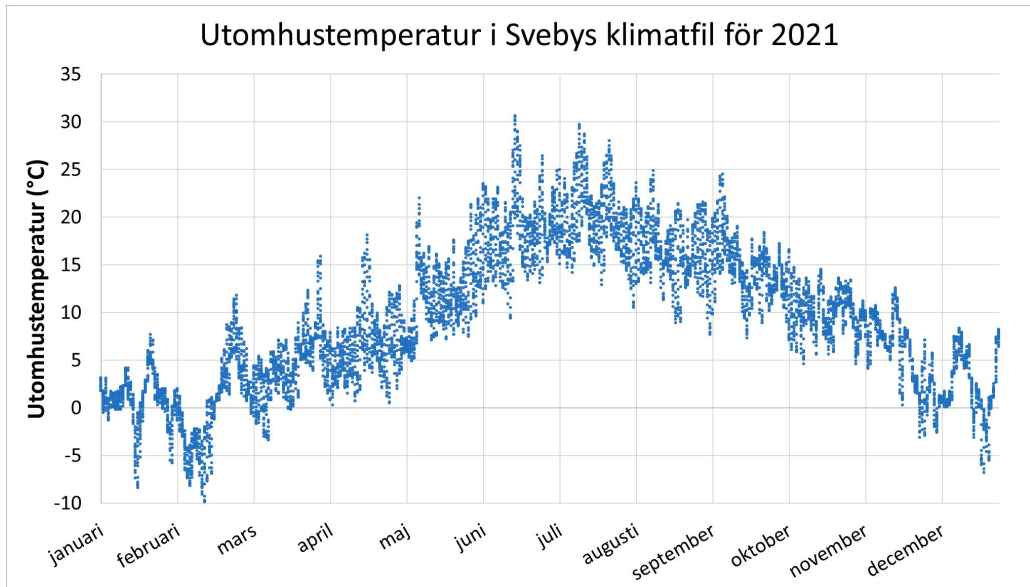
Det är inte omöjligt att flera av de nämnda anledningarna till den låga tappvarmvattenanvändningen samverkar i resultatet. Eftersom brukarbeteendet enligt flera studier i litteraturstudien är svårt att modellera och förutspå är det inte självklart att peka på en enda anledning till den låga användningen. Dock är troligtvis arbete hemifrån en av de stora faktorerna.

5.11 Utomhusklimat

Nedan presenteras skillnader mellan Svebys uppmätta utomhustemperatur i Malmö under 2021 och den som uppmätts lokalt på Epic.

5.11.1 Modelleringsindata

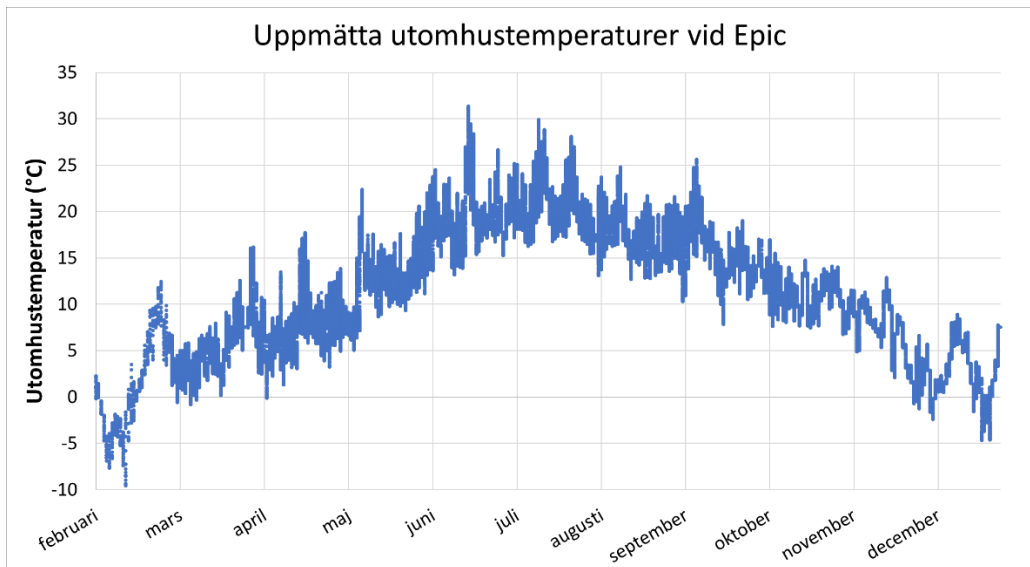
Vid modellering i IDA ICE används Svebys klimatdatafil för Malmö från 2021. Den innehåller bland annat utomhustemperaturer enligt figur 76.



Figur 76. Utomhustemperatur i Svebys klimatdatafil för 2021.

5.11.2 Uppmätta värden

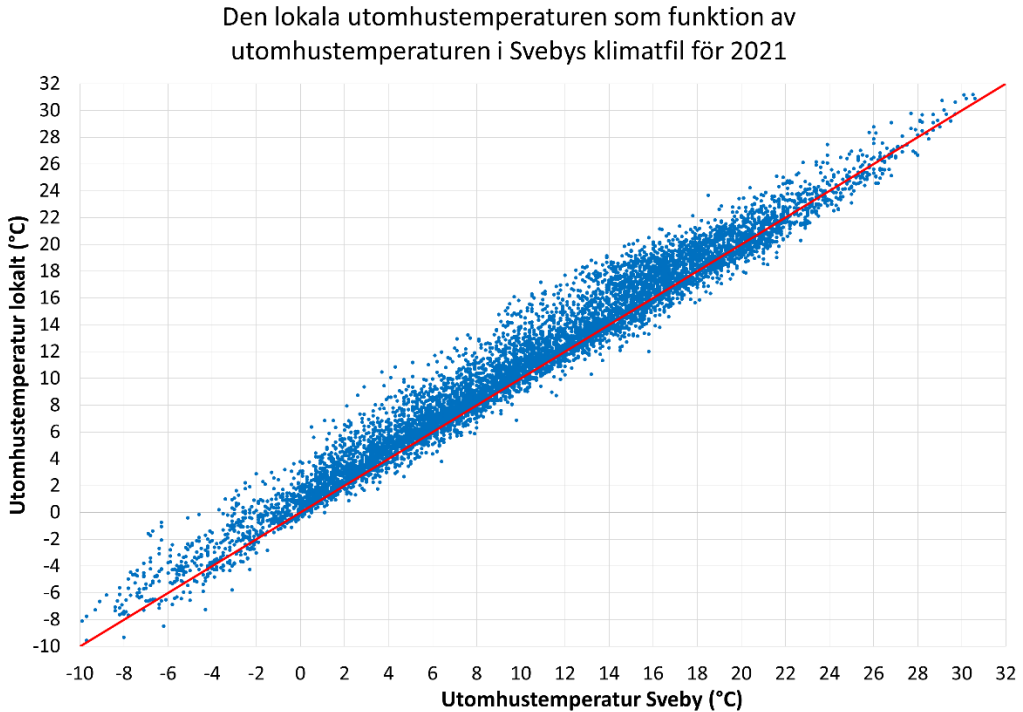
Kontorsbyggnaden Epic är utrustad med en mätare som ger det lokala klimatet på byggnaden. Mätaren sitter på fasaden på översta våningen i östlig riktning. Utomhustemperaturerna som mättes upp under 2021 visas i figur 77.



Figur 77. Lokal utomhustemperatur på kontorsbyggnaden Epic.

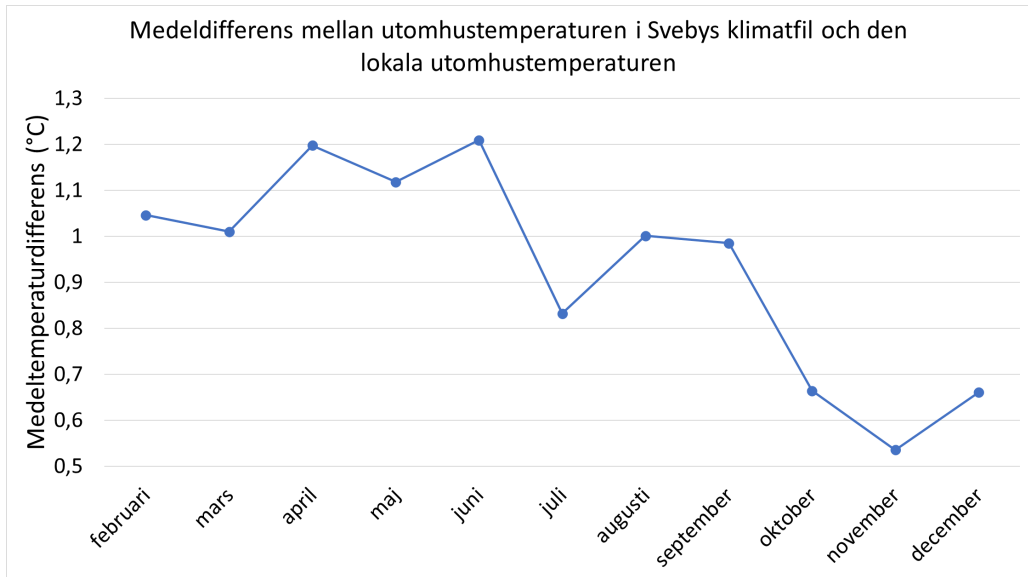
5.11.3 Jämförelse och analys

Vid vidare analys av utomhusklimatet jämförs utomhustemperaturerna i Svebys klimatdatafil mot de lokalt uppmätta utomhustemperaturerna på Epic. Noterbart är att de lokalt uppmätta temperaturerna generellt är högre än de i Svebys klimatdatafil som används vid simuleringen. Denna differens visas i figur 78 där de lokalt uppmätta temperaturerna placerar sig flera grader högre än den röda trendlinjen för majoriteten av mätpunkterna.



Figur 78. Skillnaden mellan lokalt uppmätta utomhustemperaturer på Epic och i Svebys klimatfil. Den röda linjen representerar de punkter där den lokalt uppmätta temperaturen är densamma som i Svebys klimatfil.

Att temperaturen är olika för de olika mätstationerna kan förklaras på flera sätt. Var temperaturgivaren är placerad på Epic är en stor faktor som påverkar resultatet. Om denna suttit i ett särskilt solutsatt läge hade troligtvis differensen varit ännu större än den som visas i figur 78. Det kan också bero på att temperaturen generellt faktiskt är högre vid Epic och i sådana fall kommer energiberäkningen överskatta energin som krävs för uppvärmning under vintern och underskatta energin som krävs för komfortkyla under sommaren. Om temperaturdifferensen endast påvisats under vinterhalvåret hade den kunnat förklaras genom att utomhustemperaturgivaren påverkas av värmetransporten från byggnadens inomhusklimat. Dock syns inget tydligt mönster i figur 79 av att temperaturdifferensen skulle variera efter årstiderna varför det inte bör vara en förklaring.



Figur 79. Medeldifferens mellan utomhustemperaturen i Svebys klimatfil och den lokalt uppmätta temperaturen på månadsbasis.

Andra förklaringar till att temperaturen är varmare lokalt än i klimatfilen skulle kunna vara att annan teknisk utrustning sitter så nära temperaturmätaren att värmeavgivning från denna utrustning skulle påverka resultatet. Det hade också kunnat vara så att temperaturgivaren sitter så nära klimatskalet att värmetransporten från inomhusklimatet skulle påverka men eftersom ungefär samma temperaturskillnad kan ses under sommar-månaderna bör inte detta heller vara en förklaring. Det går också att ifrågasätta givarens riktighet och att skillnaderna beror på mätfel, något som inte undersöks vidare i denna fallstudie.

5.12 Sammanställning

Nedan följer en sammanställning av fallstudiens resultat kopplat till de frågeställningar som studien undersöker.

Hur skiljer sig uppmätt och beräknad energianvändning för uppvärmning och komfortkyla i kontorsbyggnaden Epic när den modelleras enligt vald energi-beräkningsmetod?

Som visas i avsnitt 5.1 skiljer sig den beräknade energianvändningen för uppvärmning och komfortkyla markant från de uppmätta värdena. Den uppmätta energianvändningen för uppvärmning är på årsbasis totalt 45 % större än den beräknade och den uppmätta energianvändningen för komfortkyla är 49 % lägre än den beräknade. Resultatet som presenteras i avsnitt 5.1 svarar inte ensamt på vad orsakerna bakom skillnaderna kan vara. I stället utreds detta vidare genom att utvalda parametrar som använts vid beräkning analyseras.

Vilka faktorer i värmebalansen utgör eventuell skillnad mellan beräknad och uppmätt energianvändning och hur?

- Det uppmätta ventilationsflödet är lägre än det beräknade. Det lägre flödet leder till ett mindre uppvärmnings- och kylbehov av tilluft under de perioder som utomhustemperaturen är lägre respektive högre än den önskade tilluftstemperaturen. Det lägre flödet leder också till lägre energianvändning för fläktel men då fastighetselen inte analyserades i fallstudien presenteras inte detta i resultatet.
- Den uppmätta verkningsgraden för luftbehandlingsaggregatens värmeväxlare är högre än den beräknade för hus A och lägre än den beräknade för hus B. De uppmätta värdena för hus A ligger strax under 80 % och för hus B är samma siffra 74 %. Den torra verkningsgraden som anges vid modellering är 79,3 %. En högre verkningsgrad ger en lägre energianvändning för uppvärmning av tilluft.
- Den modellerade närvaron antas vara högre än den verkliga. En högre brukarnärvaro ger ett större värmetillskott som under vintermånaderna kan tillgodogöras och minska värmebehovet och då även minska energianvändningen. Dock ökar kylbehovet under sommarmånaderna på grund av detta värmetillskott vilket ökar energianvändningen för komfortkyla.
- De beräknade rumstemperaturerna och koldioxidhalterna för enskilda rum följer tydligt det modellerade närvaroschemat. De uppmätta värdena för rumstemperatur och koldioxidhalt varierar både från dag till dag samt mellan rummen. Skillnaderna mellan de beräknade värdena och de uppmätta visar på svårigheterna att modellera ett närvaroschema som stämmer överens mot verkliga beteenden vilket påverkar byggnadens energianvändning.

- De uppmätta rumstemperaturerna har större spridning på sina värden jämfört med de beräknade. Då mer eller mindre samtliga poster i värmebalansen påverkar rumstemperaturerna är de svårt att säga vilka faktorer som påverkar temperaturskillnaderna. Både de beräknade och uppmätta rumstemperaturerna är generellt högre än det modellerade börvärdet 22 °C under vintermånader samt runt börvärdet 23 °C under sommarmånaderna.
- De beräknade radiatoreffekterna har mer markerade effekttoppar under ventilationens drifttid än de uppmätta. Dessa effekttoppar syns inte i de uppmätta värdena vilka å andra sidan ligger på en konstant högre nivå. Utanför drifttiden har de uppmätta värdena alltså högre radiatoreffekter än de beräknade. Den totala energianvändningen för uppvärmning på månadsbasis blir därför större för de uppmätta värdena än de beräknade. Radiatoreffekterna kan anses för höga då medeltemperaturerna för både de beräknade värdena och de uppmätta ligger högre än inomhustemperaturens börvärde under uppvärmningssäsong. Detta tyder på en högre energianvändning för uppvärmning än vad som kan antas behövas i byggnaden.
- Kylbaffeffekten är större under sommarveckorna för de beräknade värdena jämfört med de uppmätta. Under datumen 30 augusti –3 september är de beräknade effekterna ungefär 150 kW och de uppmätta 70 kW under drifttid. Detta ger en större energianvändning för komfortkyla för de beräknade värdena än de uppmätta.
- Den uppmätta energianvändningen för verksamhetsel är 12 % lägre än den beräknade och 46 % lägre än Svebys schablonvärde. En lägre elanvändning leder till lägre internlast, mindre gratisvärme och således en högre energianvändning för uppvärmning och lägre energianvändning för komfortkyla.
- Den uppmätta energianvändningen för uppvärmning av tappvarmvatten är 0,89 kWh/(m²A_{temp} år) vilket kan jämföras med den användning som Sveby anger i sitt schablonvärde till 2 kWh/(m²A_{temp} år). En lägre tappvarmvattenanvändningen leder till en lägre energianvändning för uppvärmning av vatten.
- Den uppmätta utomhustemperaturen från givaren på kontorsbyggnaden Epic är generellt ungefär 2 °C högre än den som uppmätts till Svebys klimatdatafil för 2021. Den högre uppmätta temperaturen leder till ett lägre uppvärmningsbehov och ett högre komfortkylbehov än det beräknade.
- Det uppmätta SFP-talet är generellt lägre för både hus A och B än det beräknade. De beräknade värdena ligger relativt konstant på strax över 1,4 kW/(m³/s) och de uppmätta varierar över året mellan ungefär 1,25 kW/(m³/s) och 1,4 kW/(m³/s) för båda husen. Huruvida det beror på det lägre uppmätta tilluftsflödet går inte att säga säkert. Ett lägre SFP-tal ger en lägre energianvändning för fläktel och i sin tur fastighetsel.

Finns det någon parameter för vilken justeringar kan göras i driftskedet för att minska energianvändningen i kontorsbyggnaden Epic utan att försämra komforten?

Radiatoreffekterna utanför ventilationens drifttid är stora vilket ger en hög energianvändning för uppvärmning. Resultaten ovan visar att det under nattetid är varmare inomhustemperaturer än under dagtid. Detta tyder på att byggnadens radiatorer under nattetid verkar fortsätta kompensera för den undertempererade tilluft som under dagtid ventilerar byggnaden. Alltså värmer radiatorerna onödigt mycket på natten. Genom att sänka radiatoreffekterna markant när ventilationen inte är drift kan energianvändningen för uppvärmning av kontorsbyggnaden minskas. Även under helger och ledigheter när byggnaden inte antas vara i bruk bör radiatoreffekterna minskas för att minska energianvändningen.

Ventilationsspjällen till respektive rum styrs av rummets temperatur och koldioxidhalt. Då rumstemperaturen är hög blir temperaturen den styrande faktorn. Rumstemperaturen riskerar att överskridas enligt ovan presenterat resultat även om rummen inte används vilket ger en risk att ventilationsspjällen forcerar luft fastän rummet inte brukas. Genom att sänka inomhustemperaturens börvärde under uppvärmningssäsong och minska radiatoreffekterna under dagtid kan energianvändningen för Epic minskas och inomhusklimatet förbli behagligt. Genom att sänka byggnadens inomhustemperatur kan ventilationens forcering minskas då gränsvärdet för rumstemperaturen inte nås lika lätt eftersom byggnaden blir svalare under vintermånaderna. Energianvändningen för byggnaden kan dessutom minskas om styrningen av ventilationsspjällen ses över för att minska risken att ventilationen forcerar när rummen inte brukas. Om inomhustemperaturen sänks bör även tilluftstemperaturen sänkas för att säkerställa en tillräcklig omblandning. Noterbart är att driftinställningar kan ha justerats för de enskilda rummen i den verkliga byggnaden. Det är alltså inte säkert att gränsvärdena som resultatet diskuteras utifrån är desamma i verkligheten för alla rum. De kan även variera över året beroende på hyresgästernas önskemål. Detta har inte studerats vidare i detalj.

Vidare bör det ses över huruvida ventilationen under semesterdagar kan sänkas eller stängas av för vissa delar av byggnaden. Dock bör det beaktas att semesterveckor kan skilja mellan hyresgästerna. Genom denna ventilationssänkning kan energianvändningen minskas under semesterledigheten när brukarnärvaron är väldigt låg eller kanske till och med obefintlig hos vissa hyresgäster. Dessutom verkar det som att ventilationen är i drift de helgdagar som inte infaller på lördagar och söndagar. Mest troligt pågår ingen verksamhet i kontorsbyggnaden under dessa dagar och ventilationsdriften är därför onödig.

6 Diskussion

Generellt ligger rumstemperaturerna i byggnaden högre än börvärdet för både de beräknade värdena och de uppmätta värdena. Byggnadens projekterade inomhustemperatur är 22 °C något som i stort sett alltid överskrids. Sveby menar dessutom att börvärdet för kontor bör vara 21 °C. Eftersom börvärdena överskrids visar det på att byggnaden kan anses vara för varm. Om det är så att hyresgästerna efterfrågat den högre inomhustemperaturen bör det ses över om andra driftinställningar i stället kan justeras för att få bibehållen komfort med lägre inomhustemperatur.

Rumstemperaturen är i olika grad beroende av samtliga poster i värmebalansen. Huruvida posterna ökar eller minskar energianvändningen är svårt att säga. Är det varmt ute och kylsäsong ger personnärvaro, utrustning, solinstrålning, verksamhetsel, fastighetsel och tappvarmvatten en större energianvändning i form av ökat kylbehov. Under uppvärmningssäsong kan värmetillskottet i stället minska energianvändningen eftersom värmesystemet inte behöver tillföra lika mycket värmeenergi. Ett rum med stora andelar ytor mot uteklimatet får mer varierande rumstemperaturer, något som påvisas för kontorsrum A8. Detta visar på att klimatskalet och dess transmissionsförluster och luftläckage påverkar rumstemperaturerna och vidare även energianvändningen. Dock bör styrningen av värmesystemet klara av att värma upp alla ytor i byggnaden utan att denna större variation ses. Det bör alltså ses över om styrningen kan justeras för att inomhustemperaturen i rum med ytor mot uteklimatet inte ska vara lika beroende av utomhustemperaturen. Samtidigt behöver även styrningen ses över för innerrum som har en inomhustemperatur över börvärdet.

I denna fallstudie visar resultatet på att ventilationen kyler samtidigt som radiatorerna värmer för att hålla en behaglig inomhustemperatur under dagtid. Tilluften är undertempererad vilket sänker inomhustemperaturen och radiatorerna kompenserar för denna temperatursänkning genom en ökad effekt. När radiatorerna då höjer inomhustemperaturen finns det risk att ventilationen forcerar ännu mer om dess gränsvärde för forcering överskrids. Genom att radiatorerna värmer och ventilationen kyler för att uppnå ett behagligt inomhusklimat krävs det energi, energi till uppvärmning och till drift av ventilation. Dessa styr- och reglerinställningar bör därför ses över för kontorsbyggnaden Epic. Genom att sänka inomhustemperaturen kan byggnadens energianvändning för både uppvärmning och ventilation minskas.

Energianvändningen för uppvärmning kan minskas genom att se över radiator effekterna utanför ventilationens schemalagda drifttid, då dessa effekter är väldigt höga och inomhustemperaturerna likaså. Som tidigare nämnts verkar det som att radiatorerna utanför drifttid i den verkliga byggnaden fortsätter att värma och kompensera för den undertempererade tilluft som ventileras under dagtid. Genom att sänka radiator effekterna under nattetid och i stället nyttja den värmelagring som kan ske i byggnadens termiska massa kan energianvändningen minskas. Dock bör inte inomhustemperaturen sänkas så pass mycket under nattetid att det krävs stora mängder energi för uppvärmning på morgontimmarna för att ge en behaglig inomhusmiljö under dagtid.

Att uppskatta och modellera ett närvaroschema som ska vara likt verklighetens brukarvanor och beteende är svårt. Det är sällan som kontorsarbetsplatser används konsekvent och likt under varje arbetsdag och timme, något som litteraturstudien och fallstudien visar på. Då brukaranvändningen påverkar inomhustemperaturer, ventilationsflöden, verksamhets- och fastighetselanvändning samt uppvärmnings- och komfortkylbehovet påverkar det vidare byggnadens energianvändning. Detta innebär att om det modellerade närvaroschemat är olik verklighetens brukande blir den beräknade energianvändningen inte heller lik verklighetens, något som flertalet resultat i denna fallstudie visar på. Det är svårt att förutse och modellera hur stor energianvändning en byggnad kommer få under dess livslängd då brukaranvändningen dessutom kan ändras. Pandemin och dess konsekvenser har blivit ett tydligt exempel på att fler väljer att jobba hemifrån under någon eller några dagar i veckan vilket påverkar brukaranvändningen i en kontorsbyggnad. Denna flexibilitet av brukaranvändningen visar ännu mer på svårigheterna att modellera ett närvaroschema som liknar verklighetens. För att kunna utreda brukarnas påverkan på energianvändningen samt beräkningarnas noggrannhet hade fler närvarofall behövts simuleras. Genom att till exempel använda olika procentandelar av dimensionerande internlaster för olika simuleringar hade en spridning av tänkbara värden för energianvändningen kunnat beräknas och jämföras med de uppmätta värdena. Denna jämförelse ligger dock utanför fallstudiens avgränsningar men teorin har studerats i litteraturstudien.

Två av de parametrar som undersöks i fallstudien är värmeväxlarnas verkningsgrad samt fläktarnas SFP-tal. Båda dessa parametrar beskriver aggregatens prestanda och energianvändning. Eftersom fallstudien utförs för år 2021 är kontorsbyggnaden precis tagen i drift och aggregaten i nästintill nyskick. Efter att värmeväxlare och filter smutsats ner kan prestandan och energianvändningen förändras till det sämre vilket gör att framtidens energianvändning kopplade till dessa parametrar kan se väldigt annorlunda ut mot fallstudiens resultat. För att inte få en ökad energianvändning i framtiden krävs ett fullgott underhåll av aggregatets komponenter.

Något som visade sig vid analys av fallstudiens resultat är att för parametrarna verksamhetsel och tappvarmvattenanvändning, som båda jämförs mot schabloner från Sveby, skiljer sig uppmätt användning markant från schablonvärdena. Det kan bero på flera faktorer som exempelvis avvikande brukande från det normala under pandemi-restriktioner eller avvikande brukande i kontorsbyggnaden Epic jämfört med en ”standardkontorsbyggnad”. En annan förklaring kan vara att de schablonvärden som anges av Sveby inte är tillräckligt träffsäkra för att representera kontorsbyggnader som byggs idag. Den senaste kontorsstandarden är från 2013 och eventuellt kan brukandet av kontorsbyggnader ha förändrats under det senaste decenniet. Om det är så att schablonerna inte representerar verkligheten på ett tillräckligt träffsäkert vis och dessa schabloner används vid energiberäkningar i tidiga projekteringskedan kan det påverka möjligheten att fatta väl underbyggda beslut.

Det går också att diskutera vilka uppmätta data som saknas för att kunna dra ännu fler slutsatser kring hur väl byggnaden fungerar. Exempelvis finns inga mätare som visar ventilationsflöde, radiatoreffekt eller kylbaffeffekt för separata rum eller områden på byggnadens olika plan. Om detta funnits hade fler resultat kunnat tas fram som visar på

hur byggnadens olika system fungerar i verkligheten och mot den verkliga närvaron och internbelastningen. Det finns inte heller temperatur- eller koldioxidmätare i samma utsträckning i de områdena i kontorsbyggnaden som förses med konstanta ventilationsflöden. Om information funnits kring temperaturen i fler områden hade det gett en större förståelse för inomhustemperaturen än vad den sammanställda medeltemperaturen ger. Utökad mätning för temperatur, koldioxidhalt, ventilationsflöde, radiator- och kylbaffeffect hade inte behövts i alla utrymmen men ju fler givare som finns desto större möjligheter för förståelse av byggnadens funktion finns.

6.1 Pandemins påverkan

Något som gör denna fallstudie speciell är att kontorsbyggnaden Epic i princip endast varit i drift under de år under vilka pandemirestriktioner rått i olika utsträckning. Under den valda perioden som jämförs mot beräknade värden är det rimligt att tro att användningen av byggnaden kan ha sett annorlunda ut mot den användning som byggnaden är projekterad för. Hur det har påverkat energianvändningen är inte möjligt att svara på endast baserat på utförd fallstudie utan är något som behöver följas upp över längre tid. Det som hade kunnat göras är att simulera modellen för även andra närvarofall men detta ligger utanför fallstudiens omfattning.

Pandemirestriktionernas påverkan på värmebalansens poster går inte att bortse från i denna fallstudie utan antas ha haft en inverkan på de uppmätta värdena. Det är också svårt att säga exakt hur restriktionerna har påverkat hyresgästerna från månad till månad. Den post som kanske främst påverkats är personnärvaron som i sin tur gör att majoriteten av resterande poster också avviker från ett så kallat normalår. Med en minskad personnärvaro minskar den gratisvärme som personer och verksamhetsel bidrar med på vintern och den överskottsvärme som belastar på sommaren. I sin tur ökar uppvärmningsbehovet från värmesystemet samtidigt som kylbehovet minskar. Även ventilationsbehovet minskar på grund av större andel hemarbete och då ventilationsflödet blir lägre minskar även energianvändning för fastighetsel eftersom fläktarnas elbehov minskar. Vidare minskar även kyl- och uppvärmningsbehov av tilluften. Personbelastningen påverkar även användningen av tappvarmvatten och således också förlusterna via avlopp som båda minskar. Distributions- och reglerförlusterna påverkas på olika sätt för de olika systemen. För uppvärmningssystemet ökar de samtidigt som de minskar för kyl- och tappvarmvattensystem. De poster som lämnas oförändrade, eller med försumbar påverkan, av pandemirestriktioner är solinstrålning, transmissionsförluster samt luftläckage.

6.2 Framtida studier

Den modell som producerats i denna fallstudie kan vidareutvecklas i olika steg för att närma sig att användas som digital tvilling. Första steget i det arbetet kan vara att kalibrera modellen så att den styrs på uppmätta värden snarare än schabloner. Till exempel kan den uppmätta temperaturen användas i stället för Svebys klimatdatafiler. Hur kalibreringen ska göras behöver studeras närmare. I väntan på en digital tvilling bör dock de justeringar i driftinställningar som föreslås i denna rapport göras för att direkt minska energianvändningen i byggnaden. För att modellen ska kunna användas som digital

tvilling behöver begreppet ”normalt brukande” fastställas. Hur detta kan göras utan att inskränka på hyresgästernas integritet går att diskutera. När modellen utvecklats på ett sätt som gör att simuleringsresultatet hamnar nära verkligheten kan den användas som verktyg i byggnadens förvaltning. Förändringar som exempelvis justerade börvärden för byggnadens system kan då testas i modellen för att säkerställa önskad inomhusmiljö samt energianvändning.

Enligt fallstudiens avgränsningar beräknas inte värmeförlusten genom köldbryggor i rapporten. I stället görs ett schablonmässigt påslag på transmissionsförlusterna på 24 %. Hur stor andel som köldbryggorna ska utgöra diskuteras flitigt i branschen och under arbetets gång har siffror mellan 20 och 30 % nämnts. Huruvida schablonpåslaget är träffsäkert är svårt att säga men att det är helt i linje med verkligheten är inte troligt. Köldbryggorna skulle behöva fler och noggrannare studier för att ge en mer verklighetstrogen byggnadsmodell av Epic.

Studier kring hur stor påverkan detaljeringsgraden på zonindelning och placering av från- och tilluft har på den beräknade energianvändningen i byggnaden kan behöva göras. Det hade varit värdefullt att veta hur modellens simuleringstid kan värderas mot noggrannhet i resultat och om det finns en optimal zonindelning som uppfyller båda aspekterna.

För att få en mer komplett bild av vilken påverkan uppförandet och driften av byggnaden har på klimatet hade det varit intressant att studera byggnadens klimatavtryck. Genom att inkludera klimatpåverkan från projekterings- och produktionsfasen hade bedömningen av kontorsbyggnaden Epic blivit mer heltäckande.

Ytterligare år behöver studeras för att identifiera skillnader i uppmätta värden över tid. Även om 2021 var speciellt när det gäller pandemirestriktioner kan även andra mer normala år variera sinsemellan i uppmätta data.

För att få en mer komplett bild av hur byggnaden fungerar bör det termiska och hygieniska klimatet studeras närmare. Genom att utvärdera detta tillsammans med energianvändningen säkerställs att eventuella energibesparande åtgärder inte äventyrar inomhusklimatet.

För att kunna jämföra resultaten i denna studie mot myndighetskrav men också mot andra byggnader med liknande utformning behöver energianvändningen normaliseras och primärenergital beräknas. Detta ligger utanför fallstudiens omfattning men något som är intressant att undersöka för att kunna jämföra byggnader sinsemellan. Dock är det värt att notera att de beräknade värdena fås efter simulering med det utomhusklimat som uppmätts under 2021 varför normalisering med avseende på klimat inte bör påverka skillnaden mellan beräknade och uppmätta värden nämnvärt. Däremot bör normalisering med avseende på brukande och inomhustemperatur göra större skillnad på noggrannheten.

6.3 Felkällor

- Modelleringsval görs utifrån bygg- och relationshandlingar som fås från en stor dokumentsamling online. Huruvida de senaste och använda underlagen är upplagda i dokumentsamlingen samt om de är korrekta och stämmer överens mot verkligheten är okänt.
- U-värdena är beräknade utifrån tillgängliga ritningar i relationshandlingar. Att utvärdera huruvida byggnaden är producerad helt efter ritningar eller om avvikelser finns är inte möjligt. Det är inte heller möjligt att i efterhand kontrollera att materialen som används har de egenskaper i verkligheten som anges av tillverkaren. Med andra ord kan U-värdet i verkligheten vara både högre och lägre än det beräknade och kan således påverka transmissionsförlusternas storlek.
- Som även nämns i litteraturstudien är det svårt att uppskatta mängden innerväggar, möbler och annan inredning som finns i en byggnad. Denna svårighet finns även i denna fallstudie. Som en konsekvens av felaktigt uppskattad termisk massa över- eller underskattas byggnadens interna värmelagring och således också det beräknade värmebehovet.
- Atriet är modellerat som en enda stor zon för att minska simuleringstiden. Denna zon sträcker sig mellan glasfasaderna i väst och i öst och från golvnivå på plan 1 hela vägen till taknivå på plan 6. Dessutom är hisschaktet för de tre hissarna inkluderade i atriets zon. Denna zon har i modellen en perfekt luftomblandning vilket inte verkar troligt i verkligheten, hur detta påverkar modellen är svårt att säga.
- Under fallstudien är det inte möjligt att få tillgång till historik gällande driftinställningar varför det är problematiskt att dra slutsatser kring förändringar som skett under det studerade året. Driftinställningar för de enskilda rummen har inte heller studerats i detalj och kan ha ändrats över året och skilja mellan olika hyresgäster. Dessutom saknas mätdata för januari 2021 och således kan inte ett helt kalenderår under perioden när byggnaden varit i drift analyseras. Dessa begränsningar gällande mätdata förhindrar viss analys som annars varit möjlig.
- Hur och när den utökade dagdriften för ventilationsaggregatet har varit aktiv har inte undersökts vidare i denna fallstudie vilket hade behövt göras för att få en mer komplett bild av byggnadens system.
- I fallstudien har beräkningsprogrammet IDA ICE 4.8 använts för att utföra energiberäkningarna. I studien ingår inte en djupare analys kring programmets begränsningar och det är möjligt att andra energiberäkningsprogram genererar andra resultat.
- Den omgivande bebyggelsen är modellerad enligt tillgängliga detaljplaner. De anger i vilken grad och hur högt respektive fastighet får bebyggas. Dock säger

de inte exakt hur bebyggelsen ser ut i verkligheten där avvikelser från detaljplanerna kan förekomma. En felaktigt modellerad omgivning påverkar solinstrålningen och således också uppvärmnings- och kylbehov.

- Vid modellering försummas den fönstervädring som eventuellt kan finnas i byggnaden. Kontorsbyggnaden Epic är främst försedd med ej öppningsbara fönster och den vädring som sker från de få fönster som är öppningsbara antas vara försumbar. Huruvida detta är ett korrekt antagande är inte undersökt.

7 Slutsats

Utifrån resultaten kan det tolkas att personnärvaron har antagits för hög i det modellerade närvaroschemat, då de beräknade koldioxidhalterna ligger högre än de uppmätta. Detta tyder på svårigheter i att förutspå brukarnärvaro för en byggnad och att modellera ett närvaroschema likt verklighetens. Brukarmönster och beteenden går inte att förutspå vilket framgår i denna fallstudie och detta förstärks med de litteraturstudier som presenteras.

De beräknade kylbaffeffekterna är runt 50 % högre än de uppmätta vilken kan förklaras av den höga personnärvaro som är modellerad och som kan antas vara lägre i den verkliga byggnaden. Högre personnärvaro ger större värmestillskott som kräver mer energianvändning i form av komfortkyla för att minska inomhustemperaturen under sommarmånaderna. Den totala energianvändningen för komfortkyla på årsbasis blir därför 49 % lägre för de uppmätta värdena än de beräknade.

Under vintermånaderna, när radiatorerna är aktiva, har de beräknade radiatoreffekterna höga effekttoppar under ventilationens drifttid vilket inte kan ses för de uppmätta. Utanför drifttiden har de uppmätta värdena runt 50 % högre radiatoreffekter än de beräknade. Den totala energianvändningen för uppvärmning på årsbasis blir därför 45 % större för de uppmätta värdena än de beräknade. Då tilluften är undertempererad sänker den inomhustemperaturen och radiatorerna kompenserar för denna temperatursänkning genom en ökad effekt. Radiatoreffekterna kan därför anses vara för höga då medeltemperaturerna för både de beräknade värdena och de uppmätta ligger knappt 1 °C högre än inomhustemperaturens börvärde. Detta tyder på en större energianvändning för uppvärmning än vad som kan antas behövas i byggnaden.

Genom att minska radiatoreffekterna nattetid visar fallstudien på att det finns energibesparingsmöjligheter gällande uppvärmningssystemet. Inomhustemperaturen är under nattetid hög, högre än under dagtid, vilket förklaras av den höga radiatoreffekten som förblir oförändrad under nattetid. Byggnadens hålls varm, varmare än dess börvärde, när inga personer antas vara i byggnaden vilket tyder på onödigt uppvärmning och energianvändning.

Rumstemperaturerna påverkas av olika parametrar och faktorer. Några av dessa parametrar som analyseras i respektive rum i fallstudien är brukaranvändning, installationer och placering i byggnaden. Större andel ytor mot uteklimatet visar på större rumstemperaturvariation, vilket främst visas i de uppmätta temperaturerna men även i de beräknade. Dock bör styrningen av byggnaden klara av att jämna ut dessa variationer. Att koppla rumstemperaturer till energianvändning är svårt då det beror på samtliga poster i värmebalansen. I värmebalansen i denna fallstudie ingår personvärme, solinstrålning, verksamhetsel, fastighetsel, tappvarmvatten, värmesystem, ventilation, transmissionsförluster, luftläckage, avlopp, distributions- och reglerförluster samt kylning.

Att göra jämförelse mellan total beräknad och uppmätt energianvändning på månads- eller årsbasis säger inte så mycket om energiberäkningens noggrannhet. Som visas i

resultaten av fallstudien kan olika parametrar som påverkar samma post i energiberäkningen påverka energianvändningen åt olika håll. Ett exempel på det att det lokala klimatet är ungefär 1 °C varmare jämfört med den modellerade klimatfilen vilket bör ge en lägre uppmätt energianvändning för uppvärmning än beräknad. Samtidigt är majoriteten av de uppmätta rumstemperaturerna för de studerade rummen högre än det projekterade börvärdet vilket bör ge en högre uppmätt energianvändning för uppvärmning än beräknad. En post i energiberäkningen kan alltså stämma bra överens med verkligheten vid jämförelse samtidigt som de ingående parametrarna kan avvika från det som angetts vid modellering. Antalet parametrar som påverkar energianvändningen för exempelvis posterna uppvärmning och komfortkyla är väldigt många samtidigt som alla inte är mätbara vilket gör en fullständig uppföljning problematisk.

Studien visar att den indata som används vid modellering av byggnaden i fallstudien inte ger ett resultat tillräckligt nära verkligheten för att den ska kunna användas som en digital tvilling. Det behövs mer mätdata för att modellen ska fungera som den verkliga byggnaden. Dessutom behöver det säkerställas att kalibrering mot mätdata är möjlig samtidigt som simuleringstiden inte blir för lång för att modellen ska kunna användas.

Referenser

Abel, E. & Elmroth, A., (2016). *Byggnaden som system*. 4:2. uppl. Lund: Studentlitteratur.

AFS 2020:1. *Arbetsplatsens utformning*. Stockholm: Arbetsmiljöverket.

Arfvidsson, J., Harderup, L.-E. & Samuelsson, I., (2017). *Fukthandbok*. 4. uppl. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Bokalders, V. & Block, M., (2014). *Byggekologi Kunskaper för ett hållbart byggande*. 3. uppl. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

Boverket och Energimyndigheten, (2018). *Utvärdering av lågenergibyggnader-fallstudie 2017. Rapport till regeringen mars 2018*, Karlskrona: Statens energimyndighet.

BFS 2011:6. *Boverkets byggregler, BBR: BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4*. Karlskrona: Boverket.

BFS 2016:12. *Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår, BEN*. Karlskrona: Boverket.

BFS 2020:4. *Konsekvensutredning BFS 2020:4*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2020. *Regelhierarki – från lag till allmänt råd*.
<https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/regelhierarki/> [2022-02-02].

D'Oca, S. & Hong, T., (2015). *Occupancy schedules learning process through a data mining framework*. *Energy and Buildings*, 88: 395-408.

Ekberg, L., (2013). *R1 - Riktlinjer för specifikation av inneklimat*, Stockholm: Energi- och Miljötekniska Föreningen.

Ekström, T., (2021). *Predicting the Energy Performance of Buildings- A Method using Probabilistic Risk Analysis for Data-driven Decision-support*. Lund: Faculty of Engineering, Department of Building and Environmental Technology, Division of Building Physics.

Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/844 av den 30 maj 2018 om ändring av direktiv 2010/31/EU om byggnaders energiprestanda och av direktiv 2012/27/EU om energieffektivitet (OJ L 156, 19.6.2018, ss. 75–91)

Europeiska Unionen, (u.d). *Gröna byggnader*.
https://europa.eu/climate-pact/about/priority-topics/green-buildings_sv [2022-02-07].

Filipsson, P. & Dalenbäck, J.-O., (2014). *Energiberäkningar. Avvikelser mellan projekterat och uppmätt energibehov- Förstudie*, Göteborg: Installationsteknik, Chalmers tekniska högskola.

Flawn Orpana, L., (2015). *LUFTBEHANDLINGSSYSTEM I ENERGIBERÄKNINGAR- En studie i produktdata och beräkningsmetoder*, Malmö: SBUF.

FoHMFS 2014:17. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*. Stockholm: Folkhälsomyndigheten.

FoHMFS 2014:18. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation*. Stockholm: Folkhälsomyndigheten.

Fransson, V., (2020). *Predictions of power and energy use in dwellings- Addressing aspects of thermal mass and occupant behaviour*. Lund: Faculty of Engineering, Department of Building and Environmental Technology, Division of Building Services.

Gunay, H. B., O'Brien, W. & Beausoleil-Morrison, I., (2013). *A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices*. Elsevier Ltd.

Jia, M., Srinivasan, R. S., Ries, R. & Bharathy, G., (2018). *Exploring the validity of occupant behavior model for improving office building energy simulation*.

Larsson, T. & Berggren, B., (2015). *Undvik fel och fällor med köldbryggor*, Malmö: Skanska & SBUF.

Malmö Stadsbyggnadskontor, (2002). *Detaljplan för kv. ORKANEN och del av kv. TYFONEN mm i Hamnen i Malmö*, Malmö.

Malmö Stadsbyggnadskontor, (2006). *Detaljplan för kvarteret SCYLLA mm i Hamnen i Malmö*, Malmö.

Malmö Stadsbyggnadskontor, (2016). *Detaljplan för fastigheterna TROLLHÄTTAN 4, 7 OCH 6 i Hamnen i Malmö*, Malmö.

SFS 2011:338, 2011. *Plan- och byggförordningen*. Stockholm: Finansdepartementet.

Simanic, B., (2020). *Energy use in hotels and low-energy schools- Measurements and analysis of energy use and user-related parameters*. Lund: Faculty of Engineering, Department of Building and Environmental Technology, Division of Building Services.

Skanska Öresund, (u.d). *Epic*.
<https://epicmalmo.se/> [2022-04-01].

Sveby, (2013). *Brukarindata kontor*, Stockholm: Sveby.

Sveby, (2020). *Verifieringsanvisningar*, Stockholm: Sveby.

Sveby, (2022). *Klimatdatafiler för 2021*.

<https://www.sveby.org/okategoriserad/klimatdatafiler-for-2021/> [2022-04-05].

Sveby, (u.d). *Om Sveby*.

<https://www.sveby.org/om-sveby/> [2022-02-07].

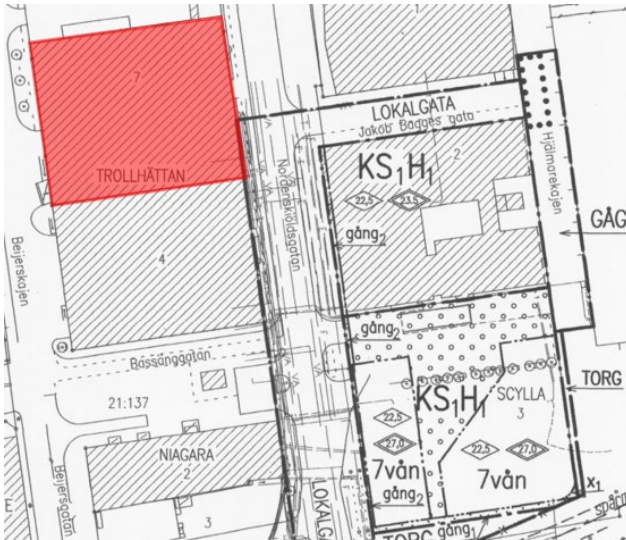
UNDP, (2021). *7 HÅLLBAR ENERGI FÖR ALLA*,

<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-7-hallbar-energi-alla/> [2022-02-06]

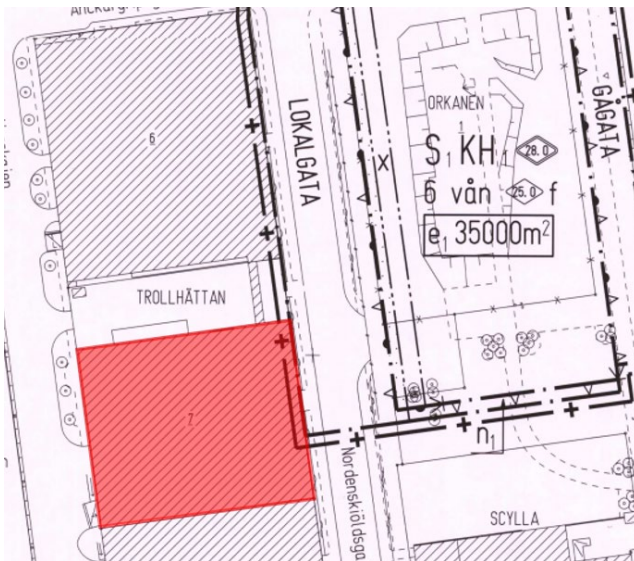
Wu, X., Lin, B., Papachristos, G., Liu, P. & Zimmermann, N. (2020). *A holistic approach to evaluate building performance gap of green office buildings: A case study in China*.

Bilaga

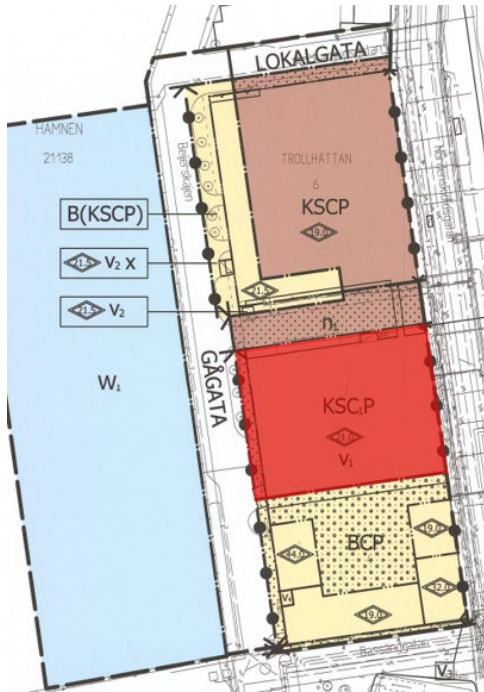
Nedan följer skärmdokument från detaljplaner som reglerar kvarteren runt Epic, se figur 80, figur 81 och figur 82.



Figur 80. Detaljplan för kvarter Scylla, med Epics fastighet markerad i röd. Källa: (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2006).



Figur 81. Detaljplan för kvarter Orkanen, med Epics fastighet markerad i röd. Källa: (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2002).



Figur 82. Detaljplan för kvarter Trollhättan 4, 7 och 6, med Epics fastighet markerad i röd. Källa: (Malmö Stadsbyggnadskontor, 2016).